

Г. Г. ГИНКИН

СПРАВОЧНИК ПО РАДИОТЕХНИКЕ

3-е переработанное и дополненное издание

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Москва

1939

Ленинград

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Настоящий справочник по радиотехнике рассчитан на обслуживание весьма широкого круга читателей. Радиоинженеры производства и эксплуатации, работники радиолaborаторий, мастера и техники, студенты учебных заведений и курсов повышения квалификации, подготовленные радиолюбители — все эти категории читателей пользуются справочником Г. Г. Гинкина, известным им уже по первым двум изданиям.

Данный справочник конечно не является исчерпывающим, и радиоспециалисты могут столкнуться с отсутствием в нем справки по той или иной специальной теме. Здесь, в частности, отсутствуют многие математические обоснования электрических процессов, отсутствуют схемы и описания радиоаппаратуры, недостаточно развернута глава, посвященная измерениям, нет материалов по фототелеграфии, мощным передатчикам и пр. Имеющаяся потребность в «капитальном» справочнике по вопросам радио с объемом, раз в три превосходящим настоящий, повидимому, будет удовлетворена в ближайшие годы. Эта работа является очень громоздкой и требует для своего выполнения большого коллектива высококвалифицированных авторов, значительных средств и времени. Существующее в некоторых кругах мнение, что указанная задача может быть легко разрешена путем простого переиздания одного из существующих иностранных справочников, мы считаем неверным по двум причинам. Во-первых, значительная часть иностранного материала для советского читателя не будет представлять никакой практической ценности, как основанная на неприменимых у нас нормах, мерах и стандартах. Во-вторых, потому, что многие иностранные издания такого рода уже к моменту их выпуска, как правило, становятся устаревшими, что диктуется в основном коммерческими интересами капиталистических фирм.

Выпускаемое третье издание настоящего справочника подверглось довольно значительной переработке: многие главы дополнены, целый ряд глав (математика, электротехника, регулирование громкости, элементы радиосвязи) написан заново. Помимо введения новых глав и переработки существующих, само расположение материала было пересмотрено с расчетом максимально облегчить читателю пользование книгой. С этой же целью

автором проведена очень большая работа по составлению и переработке целого ряда расчетных формул, графиков и таблиц. Около сотни графиков и таблиц составлены автором заново для данного издания справочника.

Главы 13 и 14 настоящего издания написаны И. П. Жеребцовым, глава 16 написана редактором.

Все замечания о недочетах настоящего издания и пожелания читателей просят направлять в адрес Оборонгиза—Москва, Уланский, 22 Оборонгизу.

Н. Дозоров

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ

Таблица 1.1

Латинский алфавит	
Буква	Название
Aa	а
Bb	бе
Cc	це
Dd	де
Ee	э
Ff	эф
Gg	ге
Hh	ха
Ii	и
Jj	йот
Kk	ка
Ll	эль
Mm	эм
Nn	эн
Oo	о
Pp	пе
Qq	ку
Rr	эр
Ss	эс
Tt	те
Uu	у
Vv	ве
Ww	дубль-ве
Xx	икс
Yy	игрек
Zz	зет

Таблица 1.2

Греческий алфавит	
Буква	Название
Αα	альфа
Ββ	бета
Γγ	гамма
Δδ	дельта
Εε	эпсилон
Ζζ	дзета
Ηη	эта
Θθ	тета
Ιι	иота
Κκ	каппа
Λλ	ламбда
Μμ	ми (или мю)
Νν	ни (или ню)
Ξξ	кси
Οο	омикрон
Ππ	пи
Ρρ	ро
Σσ	сигма
Ττ	тау
Υυ	ипсилон
Φφ	фи
Χχ	хи
Ψψ	пси
Ωω	омега

Системы механических и электрических единиц

Системой механических единиц называется совокупность единиц измерения механических величин, построенная на трех основных, независимых друг от друга единицах, от которых производятся все остальные единицы системы, называемые производными.

Таблица 1.3

Классификация

По роду основных единиц		По величине основных единиц	
Основные единицы системы	Обозначение системы	Основные единицы системы	Обозначение системы
Единицы длины — L * массы — M * времени — T	LMT	длины — 1 сантиметр массы — 1 грамм времени — 1 секунда	CGS

Примечание

Система единиц сантиметр-грамм-секунда (CGS) применяется, главным образом, в научных исследованиях.

Система метр-тонна-секунда (MTS) применяется в научных исследованиях и технике.

Система метр-килограмм (сила)-секунда (MKS) может применяться в технике в тех случаях, когда точность измерения не превышает 0,2%.

При пользовании единицами измерения не следует смешивать единицы разных систем. В частности в системе метр-килограмм (сила)-секунда (MKS) не следует применять килограмм в качестве единицы массы.

Таблица 1.4

Единицы измерения систем

Название величины	Название системы		
	сантиметр-грамм-секунда CGS	метр-тонна-секунда MTS	метр-килограмм (сила)-секунда MKS
	единицы	единицы	единицы
Длина	1 cm	1 m	1 m
Масса	1 g	1 t = 1000 kg	9 80665 kg = = 1 kGsec ² /m
Время	1 sec	1 sec	1 sec
Скорость	1 cm/sec	1 m/sec	1 m/sec
Ускорение	1 cm/sec ²	1 m/sec ²	1 m/sec ²
Сила	1 dn = 1 gcm/sec ²	1 sn = 1 tm/sec ²	1 kG
Работа	1 e = 1 dncm = = 1 gcm ² /sec ²	1 kJ = 1 snm = = 1 tm ² /sec ²	1 kGm
Мощность	1 e/sec = = 1 gcm ² /sec ³	1 kW = 1 snm/sec = = 1 tm ² /sec ³	1 kGm/sec
Давление	1 dn/cm ² = = 1 g/cm sec ²	1 pz = 1 sn/m ² = = 1 t/msec ²	1 kG/m ²

Приставки для обозначения дробных и кратных единиц

Подразделение единиц производится обычно в десятичной системе. Наиболее употребительными являются деления, кратные 10^3 , т. е. тысячи, миллионы, тысячные и миллионные доли. Однако применяются и более мелкие подразделения. В настоящее время предложена и частично применяется следующая система (табл. 1.5):

Таблица 1.5

Соотношение с основной единицей	Обозначение	Наименование	Соотношение с основной единицей	Обозначение	Наименование
10^{12}	T	тера	10^{-1}	d	деци
10^9	G	гига	10^{-2}	c	сантимилли
10^6	M	мега	10^{-3}	m	милли
10^3	k	кило	10^{-6}	μ	микро
10^2	h	гекто	10^{-9}	n	нано
10^1	D	дека	10^{-12}	p	пико

Используется теперь примерно только $\frac{3}{4}$ этого количества приставок. Вместо обозначения пико иногда ставится еще обозначение pp — микро-микро. Изредка применяются и сложные образования в роде mр — милли-микро ($\times 10^{-9}$).

В русской системе обозначений чаще всего используются приставки, кратные 10^3 : м — для обозначения милли; к — для обозначения кило; мк — для обозначения микро; мг — для обозначения мега.

Абсолютная система единиц

Эта система единиц основана на возможно меньшем числе независимых друг от друга единиц. Оказалось возможным привести всю систему единиц в зависимость только от трех единиц: длины, времени и массы. Если в основу берутся сантиметр, секунда и грамм, то получаемая система единиц называется системой CGS. Электрические или магнитные единицы требуют, однако, еще введения величины ϵ (диэлектрическая проницаемость среды) или μ (магнитная проницаемость среды). В соответствии с выбранной отправной точкой и созданы две системы: CGS_e (система электростатических единиц CGS) и CGS_m (система электромагнитных единиц CGS). Между числовыми величинами этих двух систем существуют отношения, равные целым степеням c — скорости света. Практическая же система единиц является абсолютной электромагнитной системой единиц, имеющей в качестве основных единиц: единица длины — 10^9 см; единица массы — 10^{-11} г; единица времени — 1 секунда.

Числовые соотношения между всеми этими единицами приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Величина	Практическая система единиц		Числовое отношение практической единицы к	
	название	связь с основными единицами	CGS _р	CGS _э
Количество электричества	Кулон	Ампер-секунда	10^{-1}	$3 \cdot 10^9$
Сила тока	Ампер	Основная	10^{-1}	$3 \cdot 10^9$
Напряжение (разность потенциалов, электродвижущая сила)	Вольт	$\frac{\text{Джоуль}}{\text{Кулон}}$	10^8	$\frac{1}{300}$
Электрическое сопротивление	Ом	Основная	10^9	$1, (1) 10^{-12}$
Энергия (работа) электрического тока	Джоуль	Основная	10^7	10^7
Мощность электрического тока	Ватт	$\frac{\text{Джоуль}}{\text{Секунда}}$	10^7	10^7
Емкость	Фарада	$\frac{\text{Кулон}}{\text{Вольт}}$	10^9	$9 \cdot 10^{11}$
Самоиндукция (взаимоиндукция)	Генри	$\frac{\text{Вольт}}{\frac{\text{Ампер}}{\text{Секунда}}}$	10^9	$1, (1) 10^{-12}$
Напряжение магнитного поля	Гаус	—	1	$3 \cdot 10^{10}$
Магнитная индукция		—	1	$3 \cdot 10^{10}$
Магнитный поток	Максвелл	—	1	$3 \cdot 10^{10}$
Магнитодвижущая сила	Гильберт	—	1	—

Таблица 1.7

Механические единицы (ОСТ 6052)

Наименование	Обозначение		Определение	Соотношение между единицами
	инostr.	русс.		

Единицы силы

Стен	сп	сн	Сила, сообщаемая массе в 1 т ускорение в 1 m/sec ²	1 сп = 10 ⁸ дн = 101,972 кГ
Дина	дп	дн	Сила, сообщаемая массе в 1 г ускорение в 1 cm/sec ²	1 дн = 10 ⁻⁸ сп = 1,01972 · 10 ⁻⁶ кГ
Килограмм (сила)	кГ	кг	Сила, сообщаемая массе в 1 кг ускорение 9,806 65 m/sec ² .	1 кГ = 0,980 665 · 10 ⁻³ сп
Грамм (сила)	Г	г	10 ⁻³ кГ	1 Г = 0,980 665 · 10 ⁻⁵ сп

Единицы работы и энергии

Стенметр или килоджоуль	кД	кдж	Работа, производимая силой в 1 сп при перемещении точки ее приложения на 1 м по направлению этой силы	1 кД = 10 ¹⁰ е = 10 ³ Дж = 101,972 кГм
Эрг	е	э	Работа, производимая силой в 1 дп при перемещении точки ее приложения на 1 см по направлению этой силы	1 е = 10 ⁻⁷ Дж = 10 ⁻¹⁰ кД

Наименование	Обозначение		Определение	Соотношение между единицами
	инстр.	русс.		
Джоуль	J	дж	10^{-3} кJ	$1 \text{ J} = 10^7 \text{ e} = 0,101\,972 \text{ kGm}$
Килограмм (сила)-метр	kGm	кГм	Работа, производимая силой в 1 кG при перемещении точки ее приложения на 1 m по направлению этой силы	$1 \text{ kGm} = 0\,009\,807 \text{ kJ} = 9,807 \text{ J}$

Единицы мощности

Сенметр в секунду, килоджоуль в секунду, или киловатт	kW	квт	Мощность, при которой в течение секунды равномерно производится работа, в 1 кJ	$1 \text{ kW} = 10^{10} \text{ e/sec} = 101,972 \text{ kGm/sec}$
Джоуль в секунду или ватт	W	вт	10^{-3} kW	$1 \text{ W} = 10^7 \text{ e/sec} = 0,101\,972 \text{ kGm/sec}$
Мегаватт	MW	мгвт	10^3 kW	$1 \text{ MW} = 10^{13} \text{ e/sec} = 101\,972 \text{ kGm/sec}$
Эрг в секунду	e/sec	э/сек	Мощность, при которой в течение секунды равномерно производится работа в 1 e	$1 \text{ e/sec} = 10^{-10} \text{ kW} = 10^{-7} \text{ W}$
• Килограмм (сила)-метр в секунду	kGm/sec	кГм/сек	Мощность, при которой в течение секунды производится работа в 1 kGm	$1 \text{ kGm/sec} = \frac{1}{75} \text{ HP} = 0,009\,806\,65 \text{ kW}$

Продолжение табл. 1.7

Наименование	Обозначение		Определение	Соотношение между единицами
	инстр.	русс.		
Лошадиная сила ¹	HP (PS)	ЛС	Мощность, равная 75 кГм/сек	1 HP=0,736 kW

Единицы механического напряжения (давления, растяжения, касательного напряжения)

Пьеза	pz	пз	Давление, которое испытывает плоская поверхность в 1 м² под действием равномерно распределенной нагрузки в 1 sn	1 pz=1 sn/m²= =101,972 кГ/м²
Гектопьеза или бар	hpz	гпз	100 pz	1 hpz=100 sn/m²= =10 197,2 кГ/м²
Бария или микробар (или бар—в акустике)	B b	Б б •	Давление, которое испытывает плоская поверхность в 1 см² под действием равномерно распределенной нагрузки в 1 dn	1 бария=10 ⁻⁴ pz= =10 ⁻⁸ hpz= =0,010 197 2=кГ/м²
Килограмм (сила) на квадратный сантиметр или атмосфера техническая ²	кГ/см² at	кГ/см² ат	Давление, которое испытывает плоская поверхность в 1 см² под действием равномерно распределенной нагрузки в 1 кГ	1 ат=10 ⁴ кГ/м²= =0,980 665 В

¹ При измерении мощности рекомендуется по возможности избегать применения единицы «лошадиная сила» и всюду, где это возможно, измерять мощность в киловаттах, его кратных и подразделениях. Заключенное в скобки обозначение лошадиной силы (PS), по возможности, не применять.

² При измерениях, точность которых не превышает 0,2%, сила в 1 кГ может считаться равной весу массы в 1 кг.

Таблица 1.8

Международные¹ электрические единицы (ОСТ 515 и ОСТ 5037)

Наименование	Обозначение		Определение	Отнош. к ос- новн. едини- це
	иностран.	русск.		

Единицы электрического сопротивления

Международный ом ²	Ω	ом	Сопротивление при неизменяющемся электрическом токе и при температуре тающего льда ртутного столба длиной в 106,300 сантиметров, имеющего сечение, одинаковое по всей длине, и массу в 14,4521 грамма	1
Мегом	M Ω	МГОМ	Один миллион омов (1 000 000 Ω)	10 ⁶
Микром	$\mu\Omega$	МКОМ	Одна миллионная ома (0,000 001 Ω)	10 ⁻⁶

Единицы силы тока

Международный ампер ³	A	а	Сила неизменяющегося электрического тока, который отлагает 0,00111800 грамма серебра в секунду, проходя через водный раствор азотнокислого серебра	1
----------------------------------	---	---	--	---

¹ Слово «международный» в наименовании электрических единиц может опускаться во всех случаях, кроме тех, когда необходимо отличить международные единицы от одноименных практических единиц абсолютной электромагнитной системы.

² Точная величина международного ома определяется ртутными образцами ома Главной палаты мер и весов СССР, изготовленными согласно международным постановлениям и спецификациям.

³ Точная величина международного ампера определяется по серебряному вольтметру Главной палаты мер и весов СССР согласно международным постановлениям и спецификациям.

Наименование	Обозначение		Определение	Отнош. н ос- новн. едини- це
	иностр.	руссн.		
Миллиампер	mA	ма	Одна тысячная ампера (0,001 A)	10^{-3}
Микроампер	μ A	мка	Одна миллионная ампера (0,000 001 A)	10^{-6}

Единицы электрического напряжения и электродвижущей силы

Международный вольт ¹	V	в	Электрическое напряжение или электродвижущая сила, которые в проводнике, имеющем сопротивление в один ом, производят ток силой в один ампер	1
Киловольт	kV	кв	Одна тысяча вольт (1000 V)	10^3
Милливольт	mV	мв	Одна тысячная вольта (0,001 V)	10^{-3}
Микровольт	μ V	мкв	Одна миллионная вольта (0,000 001 V)	10^{-6}

Единицы электрической мощности

Международный ватт	W	вт	Мощность неизменяющегося электрического тока силой в один ампер при напряжении в один вольт	1
Мегаватт	MW	мгвт	Один миллион ватт (1 000 000 W)	10^6

¹ Точная величина международного вольта устанавливается посредством нормальных элементов Главной палаты мер и весов СССР; изготовляемых согласно международным постановлениям и спецификациям и проверяемых посредством серебряного вольтметра и ртутных образцов ома.

Продолжение табл. 1.8

Наименование	Обозначение		Определение	Отнош. к ос- новн. едини- це
	инстр.	русс.		
Киловатт	kW	квт	Одна тысяча ватт (1000 W)	10^3
Гектоватт	hW	гвт	Сто ватт (100 W)	10^2
Милливатт	mW	мвт	Одна тысячная ватта (0,001 W)	10^{-3}
Микроватт	μ W	мквт	Одна миллионная ватта (0,000 001 W)	10^{-6}

Единицы количества электричества

Международный кулон (ампер-секунда)	C	к	Количество электри- чества, протекающее че- рез поперечное сечение проводника в течение одной секунды при токе силой в один ампер	1
Ампер-час	Ah	а-ч	Три тысячи шестьсот кулонов (3600 C)	$36 \cdot 10^2$
Микрокулон	μ C	мкк	Одна миллионная кулона (0,000 001 C)	10^{-6}

Единицы работы электрического тока

Международная секунда	ватт- Ws	вт-сек	Работа, совершаемая электрическим током в течение одной секун- ды при мощности тока в один ватт	1
(международный джоуль)	J	дж		
Ватт-час	Wh	вт-ч	Три тысячи шестьсот ватт-секунд (3600 Ws)	$36 \cdot 10^2$
Мегаватт-час	MWh	мгвт-ч	Один миллион ватт- часов (1 000 000 Wh)	$36 \cdot 10^8$
Киловатт-час	kWh	квт-ч	Одна тысяча ватт-ча- сов (1000 Wh)	$36 \cdot 10^5$
Гектоватт-час	hWh	гвт-ч	Сто ватт-часов (100 Wh)	$36 \cdot 10^4$

Наименование	Обозначение		Определение	Отнош. к ос- новн. едини- це
	инстр.	русск.		

Единицы электрической емкости

Международная фарада	F	Φ	Емкость конденсатора, заряжаемого до напряжения в один вольт одним кулоном	1
Микрофарада	μF	мкФ	Одна миллионная фарады (0,000 001 F)	10^{-6}
Микромикрофарада ¹	$\mu\mu F$	мкмкФ	Одна миллионная микрофарады (0,000 001 μF)	10^{-12}

Единицы самоиндукции и взаимной индукции

Международный генри ²	H	гн	Самоиндукция электрической цепи, в которой индуктируется электродвижущая сила в один вольт при равномерном изменении тока в этой же цепи со скоростью одного ампера в одну секунду
----------------------------------	---	----	--

¹ Эта единица иногда называется еще и пикофарада. Весьма близкой по величине к этой части фарады оказалась единица емкости из электростатической системы единиц — сантиметр емкости, которая и была введена для обозначения малых величин емкостей, наиболее часто встречающихся в радиотехнике.

Расчетные формулы в большинстве случаев составляются для основных единиц и поэтому требуют перевода в фарады, что, конечно, значительно проще при пользовании не сантиметрами, а десятичными подразделениями фарады.

² Между генри и электромагнитной единицей коэффициента самоиндукции (сантиметром) существует такое отношение: $1 \text{ гн} = 10^9 \text{ см}$.

На практике в генри измеряются обычно коэффициенты самоиндукции катушек с железом или воздушных катушек с большим числом (1000 и больше) витков. Индуктивность катушек, применяемых как в радиовещательном диапазоне, так и в коротковолновом, чаще всего определяется в долях практической единицы самоиндукции — мкгн.

Продолжение табл. 1.8

Наименование	Обозначение		Определение	Отнош. к ос- новн. едини- це
	иностр.	русс.		
			Взаимная индукция в системе двух электрических цепей, в одной из которых индуцируется электродвижущая сила в один вольт при равномерном изменении тока в другой цепи со скоростью одного ампера в одну секунду	1
Миллигенри	mH	мгн	Одна тысячная генри (0,001 H)	10^{-3}
Микрогенри	μH	мкгн	Одна миллионная генри (0,000 001 H)	10^{-6}

Единицы частоты ОСТ 5037

Герц	Hz	гц	Частота периодически изменяющейся во времени величины, период которой равен одной средней солнечной секунде ¹	1
Килогерц	kHz	кгц	Одна тысяча герц (1000 Hz)	10^3
Мегагерц	MHz	мггц	Один миллион герц (1 000 000 Hz)	10^6

¹ При вычислении длины волны электромагнитных колебаний в метрах по заданной частоте скорость распространения этих колебаний в воздухе принимается условно равной $3 \cdot 10^8$ м/сек.

При вычислении длины волны электромагнитных колебаний в метрах по заданной частоте с точностью, превосходящей $1/100$, скорость распространения этих колебаний в воздухе принимается равной $2,9982 \cdot 10^8$ м/сек.

При указании длины волны в метрах наряду с указанием частоты в герцах или кратных герца длина волны ставится в скобках вслед за указанием частоты, например 200 кгц (1500 м).

Таблица 1.9

Магнитные единицы электромагнитной системы CGS (OCT 5578)

Наименование	Обозначение		Определение	Формулы связи с абсолютными электрическими единицами электромагнитной системы CGS	
	иностран.	русск.			
Единица магнитного потока	Максвелл	M	мкс	Поток, который при равномерном его изменении в течение одной секунды индуцирует в охватывающем его единичном контуре (витке) электродвижущую силу, равную 10^{-8} международных вольт	$[\text{максвелл}] = [\text{абс. ед. э д с}] \times [\text{сек.}]$
Единица магнитной индукции	Гаусс	G	гс	Индукция в теле, в котором на каждый квадратный сантиметр сечения, нормального к направлению магнитных линий, приходится магнитный поток, равный одному максвеллу	$[\text{гаусс}] = \frac{[\text{абс. ед. э д с}] \times [\text{сек.}]}{[\text{см}^2]}$
Единица магнитодвижущей силы (магнитного напряжения)	Гильберт	Gb	гб	Разность магнитных потенциалов между двумя плоскими эквипотенциальными поверхностями, расположенными параллельно одна другой на расстоянии 1 см, если магнитное поле в пространстве между этими поверхностями равномерно и индукция равна 1 гс	$[\text{гильберт}] = 4\pi \times [\text{абс. ед. силы тока}]$
Единица напряженности магнитного поля (магнитной силы)	Эрстед	Oe	э		$[\text{эрстед}] = \frac{4\pi \times [\text{абс. ед. силы тока}]}{[\text{см}]}$

Единицы в области акустики (ОСТ 7242)

Наименование	Обозначение		Определение	Размерность
	иностр.	русск.		
Бар	bar	бар	Звуковое давление Давление, испытываемое плоской поверхностью в один квадратный сантиметр под действием равномерно распределенной по ней нагрузки в одну дину	$ML^{-1}T^{-2}$
Эрг на кубический сантиметр	$\frac{e}{cm^3}$	$\frac{эрг}{см^3}$	Плотность звуковой энергии Плотность звуковой энергии, при которой звуковая энергия в один эрг равномерно распределена по объему в один кубический сантиметр	$ML^{-1}T^{-2}$
Механический ом	Ω_m	мехом	Механическое сопротивление Механическое сопротивление системы в точке, в которой амплитудная скорость в один сантиметр в секунду вызывается амплитудной нагрузкой в одну дину в направлении скорости $1 \text{ мехом} = \frac{дин}{см/сек}$	MT^{-1}
Эрг в секунду на квадратный сантиметр (децимикроватт на квадратный сантиметр)	$\frac{e}{cm^2 \cdot сек}$ или $\frac{dpW}{cm^2}$	$\frac{эрг}{см^2}$ или $\frac{мкмет}{см^2}$	Сила звука Сила звука в точке, где через площадь в один квадратный сантиметр, перпендикулярную к направлению проходящей волны, проходит звуковая мощность один эрг в секунду	MT^{-3}

Наименование	Обозначение		О п р е д е л е н и е	Размерность
	инстр.	русск.		
Ватт на квадратный сантиметр	W см ²	вт см ²	Десять миллионов децимикроватт на квадратный сантиметр	
Микроватт на квадратный сантиметр	μW см ²	мквт см ²	Десять децимикроватт на квадратный сантиметр	
Бел		б	Разность уровней звуковых мощностей Разность уровней двух мощностей, десятичный логарифм отношения которых (мощностей) равен единице	
Децибел	db	дб	Одна десятая бела	
Дина на сантиметр	дп см	дн см	Упругость Упругость механической системы в точке, которая под влиянием статической нагрузки в одну дина перемещается на один сантиметр в направлении этой силы	MT^{-2}
Сантиметр на дина	см дп	см дн	Гибкость Гибкость механической системы в точке, которая под влиянием статической нагрузки в одну дина перемещается на один сантиметр в направлении этой силы	$M^{-1}T^2$

П р и м е ч а н и е. Для всех других величин в акустике, как то: перемещения, скорости, длины волны, периода колебаний и т. п., применяются соответствующие единицы абсолютной системы CGS и их производные. В качестве единицы частоты колебаний применяется герц (ОСТ 5037).

Основные обозначения, относящиеся к электромагнитному полю (ОСТ 5579)

I. Общие обозначения, встречающиеся в электротехнике

Длина	l
Масса	m
Время	t

В формулах размерности длина, масса и время обозначаются буквами L , M и T .

Площадь	S
Объем	V

В тех случаях, когда символы S и V оказываются неудобными, площадь и объем обозначаются соответственно буквами s и v .

Длина волны	λ
Полный период колебания	T
Частота колебаний	f

В тех случаях, когда символ f оказывается неудобным, частота обозначается буквой ν .

Скорость	v
Угловая скорость, угловая частота	ω
Энергия	W
Работа	A
Сила (механическая)	F
Мощность	P
Отдача (коэффициент полезного действия)	η
Количество тепла	Q
Температура (считаемая от 0°K)	T
Температура (считаемая от 0°C)	t

Когда символы T и t оказываются неудобными, температура, считаемая от 0°K , обозначается буквой θ , а температура, считаемая от 0°C , обозначается буквой θ .

Скорость света в пустоте	c
Квант действия (постоянная Планка)	h
Заряд электрона	e

II. Специальные обозначения

Количество электричества (электрический заряд)	Q, q
Электрический момент	Me
Объемная плотность электричества	ρ_e
Поверхностная плотность электричества	σ_e
Электрическое смещение	D
Диэлектрическая проницаемость среды (диэлектрическая постоянная среды)	ϵ
Диэлектрическая проницаемость пустоты	ϵ_0
Электрическая восприимчивость	χ_e
Напряженность электрического поля (электрическая сила)	E

Электродвижущая сила E, e

В тех случаях, когда напряженность электрического поля и электродвижущая сила (в д. с.) рассматриваются совместно, для обозначения в. д. с. применяется буква e .

Электрическое напряжение U, u

Для обозначения электрического напряжения могут быть применены также буквы E, e , принятые для обозначения электродвижущей силы.

Разность электрических потенциалов, электрический потенциал U_e, u

Для обозначения разности электрических потенциалов и электрического потенциала может быть применена также буква φ .

Электрическая емкость C

Электрическое сопротивление R_e, r

Удельное электрическое сопротивление ρ

Электрическая проводимость G_e, g

Удельная электрическая проводимость γ

Сила тока I, i

Плотность тока J, j

В тех случаях, когда символы J, j оказываются неудобными, плотность тока обозначается буквами Δ, δ .

Магнитный поток (поток магнитной индукции) Φ, φ

Магнитная масса m

Магнитный момент M_m

Объемная плотность магнитной массы ρ_m

Поверхностная плотность магнитной массы σ_m

Магнитная индукция B

Магнитная проницаемость среды μ

Магнитная проницаемость пустоты μ_0

Магнитная восприимчивость χ_m

Напряженность (интенсивность) намагниченности I

Напряженность магнитного поля (магнитная сила) H

Магнитодвижущая сила F

Разность магнитных потенциалов (магнитное напряжение), магнитный потенциал U_m

Магнитное сопротивление R_m

Магнитная проводимость G_m

Вектор потенциал A

Индуктивность (коэффициент самоиндукции) L

Взаимная индуктивность (коэффициент взаимной индукции) M

Коэффициент связи k

Если представляется необходимость отметить векторный характер величины, то обозначающая ее буква должна быть жирного шрифта; в тех случаях, когда применение жирного шрифта технически затруднительно, буква может быть нежирного шрифта, но с чертой наверху.

Индекс e у символов $M_e, \rho_e, \sigma_e, \chi_e, U_e, R_e, G_e$ и индекс m у символов $M_m, \rho_m, \sigma_m, \chi_m, U_m, R_m, G_m$ опускаются, когда это не может повести к смешению соответствующих электрических и магнитных величин.

Обозначения в области переменных электрических токов (ОСТ 5580)

Период полного колебания	T
Частота колебаний	f
В тех случаях, когда символ f оказывается неудобным, частота обозначается буквой ν .	
Длина волны	λ
Угловая частота	ω
Мгновенное значение электродвижущей силы	e
Максимальное значение (амплитуда) электродвижущей силы	E_m
Эффективное (действующее, среднее квадратичное) значение электродвижущей силы	E
Активная составляющая электродвижущей силы	E_a
Реактивная составляющая электродвижущей силы	E_r
Мгновенное значение напряжения	u или e
Максимальное значение (амплитуда) напряжения	U_m или E_m
Эффективное (действующее, среднее квадратичное) значение напряжения	U или E
Активная составляющая напряжения	U_a или E_a
Реактивная составляющая напряжения	U_r или E_r
Мгновенное значение силы тока	i
Максимальное значение (амплитуда) силы тока	I_m
Эффективное (действующее, среднее квадратичное) значение силы тока	I
Активная составляющая силы тока	I_a
Реактивная составляющая силы тока	I_r
Мгновенное значение мощности	p
Активная мощность	P_a
Индекс a может быть опущен в тех случаях, когда символ P не применяется для обозначения других величин.	
Реактивная мощность	P_r
Кажущаяся мощность	P_i
Разность фаз (угол сдвига)	φ
Активное сопротивление	R, r
Реактивное сопротивление	X, x
Индуктивное сопротивление	x_L
Емкостное сопротивление	x_C

Принимается $x = x_L - x_C$, что соответствует и формальному выражению силы синусоидального переменного тока:

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi), \text{ где } \varphi = \arctg \frac{x}{r}$$

Кажущееся (полное) сопротивление	z
Комплексное выражение кажущегося сопротивления	Z

$$Z = r + jx = ze^{j\varphi}$$

Активная проводимость	g
Реактивная проводимость	b

Индуктивная проводимость	b_L
Емкостная проводимость	b_C
Кажущаяся (полная) проводимость	Y
Комплексное выражение кажущейся проводимости	Y

$$Y = g - jb = ye^{-j\varphi}$$

Коэффициент сдвига фазы вдоль линии	α
Коэффициент затухания волны вдоль линии	β
Постоянная распространения волны вдоль линии	γ
Комплексное выражение характеристического сопротивления	Z_c
Коэффициент формы кривой	k_f
Коэффициент искажения кривой	k_d
Число фаз многофазной системы	m
Мнимая единица	i

В тех случаях, когда символ i оказывается неудобным, мнимая единица обозначается буквой j .

Основание натуральных логарифмов e

В тех случаях, когда символ e оказывается неудобным, основание натуральных логарифмов обозначается буквой a .

При символическом изображении комплексными числами величин, гармонически изменяющихся во времени, эти комплексные числа обозначаются теми же символами, что и их модули, но с точкой наверху или же с точкой внизу, если точка наверху может быть принята за знак производной.

Модулями комплексных выражений электродвижущей силы, напряжения и силы тока являются их эффективные значения. Так, например, электродвижущей силе, изменяющейся по закону:

$$e = E \sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha)$$

(где α или иная греческая буква — начальная фаза электродвижущей силы), соответствует комплексное выражение:

$$\dot{E} = E e^{j\alpha}$$

Активными и реактивными составляющими электродвижущей силы, напряжения и силы тока считаются составляющие эффективных значений соответствующих величин.

При разложении несимметричных трехфазных систем на симметричные составляющие, а именно: нулевую составляющую, составляющую прямого следования фаз и составляющую обратного следования фаз, обозначения этих составляющих снабжаются соответственно индексами «0», «1» и «2».

Обозначения, относящиеся к области радиотехники (ОСТ 6174)

1. Обозначения, отличные от ОСТ 5579 и 5580

Напряженность электрического поля (электрическая сила)	E
Напряженность магнитного поля (магнитная сила)	H

Обозначение E в отличие от обозначения электродвижущей силы пишется прямым шрифтом; таким же шрифтом пишется по аналогии и H .

Частота колебаний	f
Угловая частота	ω

В тех случаях, когда в формуле встречаются одновременно частоты совершенно различных порядков, для обозначения более низкой частоты (например модулирующей частоты) применяются символы F и Ω . Символ ν в радиотехнике не применяется.

Активное сопротивление	r
Реактивное сопротивление	x
$(x = x_L - x_C, \text{ где } x_L \text{ — индуктивное сопротивление, } x_C \text{ — емкостное сопротивление})$	
Каждущееся (полное) сопротивление	z
Электрическое сопротивление (постоянному току)	R
Среднее значение мощности. Мощность постоянного тока	P

II. Специальные обозначения

Логарифмический декремент колебания . . .	δ
Характеристика контура (волновое сопротивление контура)	ρ
Угол потерь в диэлектрике $(\delta = \frac{\pi}{2} - \varphi)$. .	δ
Внутреннее сопротивление электронной лампы	R_i
Коэффициент усиления электронной лампы .	μ

В тех случаях, когда в формулах встречается величина, обратная коэффициенту усиления электронной лампы (проницаемость сетки), для обозначения этой величины применяется символ D .

Крутизна характеристики электронной лампы	S
Коэффициент трансформации	n
Коэффициент модуляции	m

III. Основные индексы

В тех случаях, когда в формулах встречаются одновременно величины электродвижущей силы, разности потенциалов (напряжения), силы тока, мощности как переменного тока, так и постоянного, величины, относящиеся к переменному току, обозначаются символами, набираемыми курсивным шрифтом: E, U, I, P ; величины же, относящиеся к постоянному току, обозначаются символами того же шрифта с двумя черточками, набираемыми как индекс: $\underline{A}, \underline{U}, \underline{I}, \underline{P}$.

В отличие от ОСТ 5580, где индекс a применяется для обозначения активных составляющих, в радиотехнике этот индекс применяется для обозначения величин, относящихся к анодной цепи электронной лампы, например i_a — сила анодного тока.

Величины, относящиеся к антенне, обозначаются индексом	A
например λ_A — собственная длина волны антенны.	

Динамические величины обозначаются индексом *d*
 например C_d — динамическая емкость антенны.

Эффективные (действующие) величины обозначаются индексом *e*
 например h_e — эффективная (действующая) высота антенны; L_e — эффективная (действующая) индуктивность.

Эквивалентные величины обозначаются индексом *oe*
 например r_{oe} — сопротивление, эквивалентное потерям.

Величины, относящиеся к цепи катода электронной лампы, обозначаются индексом . . . *f*
 например U_f — напряжение накала.

В тех случаях, когда необходимо различать цепи катода и его накала, например в электронной лампе с подогревом, для обозначения величин, относящихся к катоду, применяется индекс *k*.

Величины, относящиеся к цепи сетки электронной лампы, обозначаются индексом . . . *g*
 например J_g — сила тока сетки.

Для обозначения величин, относящихся к экранирующей сетке, применяется индекс *g* в скобках (*g*)
 например $U_{(g)}$ — напряжение экранирующей сетки.

Величины, относящиеся к единице длины, обозначаются индексом *l*
 например C_l — емкость на единицу длины; L_l — индуктивность на единицу длины.

Величины, относящиеся к модуляции, обозначаются индексом *M*
 например I — сила модуляционного тока.

Величины, относящиеся к начальным или исходным значениям, обозначаются индексом . . . *o*
 например I_o — сила начального анодного тока, соответствующего заданному сеточному смещению.

Статические величины обозначаются индексом . . . *s*
 например C_s — статическая емкость.

Величины, относящиеся к насыщению, также обозначаются индексом *s*
 например I_s — сила тока насыщения.

Кроме перечисленных индексов, в качестве индексов применяются также указанные выше обозначения *C и L*
 например U_C — напряжение на зажимах конденсатора; I_L — сила индуктивного тока.

При наличии у символа нескольких индексов следует набирать или писать индексы рядом, не отделяя один от другого запятой или пробелом;

например C_{ag} — емкость между анодом и управляющей сеткой электронной лампы; I_{ma} — амплитуда силы анодного тока.

Для обозначения максимального, минимального и среднего арифметического значения какой-либо величины применяются соответствующие индексы max , min , med , набираемые прямым шрифтом:

например I_{max} — наибольшее действующее значение силы тока (для обозначения максимального значения во всех случаях, кроме амплитуды переменных величин, применяется индекс max).

При наличии у символа одного или нескольких индексов в сопровождении одного из индексов max , min , med набирают эти последние индексы (прямым шрифтом) рядом с основными индексами (курсивом), но с пробелом:

например $I_{a\ med}$ — среднее арифметическое значение силы анодного тока;

$I_{ma\ max}$ — наибольшая амплитуда силы анодного тока;

$U_{mg\ min}$ — наименьшая амплитуда напряжения сетки

МАТЕМАТИКА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ (ОСТ 573)

I. Обозначения чисел

В многозначном числе цифры разбиваются на группы, по три справа налево, причем группы отделяются друг от друга промежутками, например 1 411 312.

Десятичная дробь отделяется от целой части запятой; при отсутствии целой части на ее место ставится нуль. В случае большого числа десятичных знаков они разбиваются на группы, по три слева направо группы отделяются друг от друга промежутками, например 13, 595 93.

Для обозначения обыкновенной дроби применяется горизонтальная черта, например $7 \frac{2}{22}$.

Примечание. Для удобства печатания допускается косая черта, если это не вызывает недоразумений.

В смешанном числе правильная дробь ставится непосредственно за целой частью, например $7 \frac{2}{3}$.

‰ — процент (сотые доли).

‰‰ — промилле (тысячные доли).

Положительный характер числа знаком не отмечается, кроме тех случаев, когда это требуется отметить; в этих случаях ставится впереди знак + (плюс), например + 5.

Отрицательный характер числа обозначается поставленным впереди знаком — (минус), например — 5.

Абсолютное значение числа обозначается двумя вертикальными чертами, например |— 5|.

II. Обозначения соотношений

= — равно

≡ — тождественно или тождественно равно (применяется в случае, когда желательно особо отметить тождественность обеих частей равенства)

≠ — не равно

≈ — приближенно равно

- $<$ — меньше
- $>$ — больше
- $\leq$ — меньше или равно (не больше)
- $\geq$ — больше или равно (не меньше)
- $\ll$ — мало сравнительно с
- $\gg$ — велико сравнительно с

III. Обозначения основных действий

- $+$ (плюс) — сложение
- $-$ (минус) — вычитание
- или $\times$ — умножение
- Знак умножения обычно не ставится перед числом, обозначенным буквой, и перед скобками.
- $:$ или $\div$ — деление

a^m a в степени m

$\sqrt{\quad}$ квадратный корень

i квадратный корень из -1 ; $i = \sqrt{-1}$ (i часто заменяется j)

$\sqrt[m]{\quad}$ — корень степени m при $m \neq 2$

$\log_b$ — логарифм при основании b

Примечание. В тех случаях, когда нет надобности указывать основание, соответствующий подстрочный значок при $\log$ опускается.

$\lg$ — логарифм при основании 10 (обыкновенный или десятичный логарифм)

$\ln$ — логарифм при основании $e = 2,718\ 28\dots$ (натуральный логарифм)

$(\quad)$ — круглые
 $[\quad]$ — квадратные
 $\{\quad\}$ — фигурные

} скобки

Δ — приращение

$n!$ — факториал; $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$

IV. Геометрические обозначения

$\perp$ — перпендикулярно

$\parallel$ — параллельно

$\#$ — равно и параллельно

$\sim$ — подобно

$\triangle$ — треугольник, например $\triangle ABC$

$\angle$ — плоский угол, например $\angle ABC$.

Примечание. В тех случаях, когда могут возникнуть недоразумения, для обозначения угла можно применять более сложный знак $\angle$.

или $\frown$ дуга, например $\frown AB$, $\widehat{AB}$

° — градус

' — минута

" — секунда

} при обозначении величины плоского угла или дуги
например $2^\circ 3' 4''$.

Если обозначение ° (градус), ' (минута) или " (секунда) относятся к числу, содержащему десятичную дробь, то оно ставится над запятой, например: 3.41 ; $6.5'27$; $8.4'2''9$

π — отношение длины окружности к диаметру; $\pi = 3,141\ 59\dots$

V. Обозначения тригонометрических и гиперболических функций

Тригонометрические функции:

$\sin$ — синус

$\cos$ — косинус

tg — тангенс

ctg — котангенс

$\sec$ — секанс

cosec — косеканс

Для обозначения степени тригонометрической функции показатель степени ставится при знаке этой функции, например $\sin^2 x$.

Для обозначения обратных тригонометрических функций перед вышеуказанными обозначениями ставится arc (arcus — дуга), например $\operatorname{arcsin} x$ — дуга, синус которой равен x .

arcsin — арксинус

arccos — арккосинус

arctg — арктангенс

arcctg — арккотангенс

Гиперболические функции:

sh — синус гиперболический

ch — косинус гиперболический

th — тангенс гиперболический

cth — котангенс гиперболический

Для обозначения степени гиперболической функции показатель степени ставится при знаке этой функции, например $\operatorname{sh}^2 x$.

Для обозначения обратных гиперболических функций перед вышеуказанными обозначениями ставится Ar (area — площадь), например $\operatorname{Arsh} x$ — площадь, соответствующий гиперболический синус которой равен x .

Arsh — арсинус гиперболический

Arch — аркосинус гиперболический

Arth — артангенс гиперболический

Arcth — аркотангенс гиперболический]

Квадраты, корни квадратные, окружности и площади круга для чисел от 1 до 100

Диаметр d круга взят равным 1,0 этих чисел

Число n	Квадрат его	Корень квадратный	$d = 0,1 \pi$	Окружность πd	Площадь круга $\frac{1}{4} \pi d^2$	Число n	Квадрат его	Корень квадратный	$d = 0,1 \pi$	Окружность πd	Площадь круга $\frac{1}{4} \pi d^2$
1	1	1,0000	0,1	0,314	0,0079	51	2601	7,1414	5,1	16,02	20,428
2	4	1,4142	2	0,628	0,0314	52	2704	7,2111	2	16,34	21,237
3	9	1,7321	3	0,943	0,0707	53	2809	7,2801	3	16,65	22,062
4	16	2,0000	4	1,257	0,1257	54	2916	7,3485	4	16,97	22,902
5	25	2,2361	5	1,571	0,1964	55	3025	7,4162	5	17,28	23,758
6	36	2,4495	6	1,885	0,2827	56	3136	7,4833	6	17,59	24,630
7	49	2,6458	7	2,199	0,3848	57	3249	7,5498	7	17,91	25,518
8	64	2,8284	8	2,513	0,5027	58	3364	7,6158	8	18,22	26,421
9	81	3,0000	9	2,827	0,6362	59	3481	7,6810	9	18,54	27,340
10	100	3,1623	1,0	3,142	0,7854	60	3600	7,7461	6,0	18,85	28,274
11	121	3,3166	1	3,456	0,9503	61	3721	7,8102	1	19,16	29,225
12	144	3,4641	2	3,770	1,1310	62	3844	7,8740	2	19,48	30,191
13	169	3,6056	3	4,084	1,3273	63	3969	7,9373	3	19,79	31,173
14	196	3,7417	4	4,398	1,5394	64	4096	8,0000	4	20,11	32,170
15	225	3,8730	5	4,712	1,7672	65	4225	8,0623	5	20,42	33,183
16	256	4,0000	6	5,027	2,0106	66	4356	8,1240	6	20,74	34,212
17	289	4,1231	7	5,341	2,2698	67	4489	8,1864	7	21,05	35,257
18	324	4,2426	8	5,655	2,5447	68	4624	8,2462	8	21,36	36,317
19	361	4,3589	9	5,969	2,8353	69	4761	8,3066	9*	21,68	37,393
20	400	4,4721	2,0	6,283	3,1416	70	4900	8,3666	7,0	21,99	38,485
21	441	4,5826	1	6,597	3,4636	71	5041	8,4261	1	22,31	39,592

22	484	4,604	2	3,813	72	5,184	8,4853	2	22,62	40,715
23	529	4,7938	3	4,1548	73	5,329	8,5440	3	22,93	41,854
24	576	4,8993	4	4,5239	74	5,476	8,623	4	23,25	43,008
25	625	5,000	5	4,937	75	5,625	8,6603	5	23,56	44,179
26	676	5,0993	6	5,393	76	5,776	8,7178	6	23,88	45,365
27	729	5,1932	7	5,7256	77	5,929	8,7750	7	24,19	46,566
28	784	5,2915	8	6,1575	78	6,084	8,8318	8	24,50	47,784
29	841	5,3852	9	6,6052	79	6,241	8,8882	9	24,82	49,017
30	900	5,4772	3,0	7,0686	80	6,400	8,9443	8,0	25,13	50,266
31	961	5,5678	1	7,5477	81	6,561	9,0000	1	25,45	51,530
32	1,024	5,6569	2	8,0425	82	6,724	9,0554	2	25,76	52,810
33	1,089	5,7446	3	8,5430	83	6,869	9,1104	3	26,08	54,106
34	1,156	5,8310	4	9,0792	84	7,056	9,1656	4	26,39	55,418
35	1,225	5,9161	5	9,6211	85	7,225	9,2195	5	26,70	56,745
36	1,296	6,0000	6	10,179	86	7,396	9,2756	6	27,02	58,088
37	1,369	6,0828	7	10,752	87	7,569	9,3274	7	27,33	59,447
38	1,444	6,1644	8	11,341	88	7,744	9,3808	8	27,65	60,821
39	1,521	6,2450	9	11,946	89	7,921	9,4340	9	27,96	62,211
40	1,600	6,3246	4,0	12,566	90	8,100	9,4868	9,0	28,27	63,617
41	1,681	6,4031	1	12,88	91	8,281	9,5394	1	29,59	65,039
42	1,764	6,4807	2	13,20	92	8,464	9,5917	2	28,90	66,476
43	1,849	6,5574	3	13,51	93	8,649	9,6437	3	29,22	67,929
44	1,936	6,6332	4	13,82	94	8,836	9,6954	4	29,53	69,398
45	2,025	6,7082	5	14,14	95	9,025	9,7468	5	29,85	70,882
46	2,116	6,7823	6	14,45	96	9,216	9,7980	6	30,16	72,382
47	2,209	6,8557	7	14,77	97	9,409	9,8489	7	30,47	73,898
48	2,304	6,9282	8	15,08	98	9,604	9,8995	8	30,79	75,430
49	2,401	7,0000	9	15,39	99	9,801	9,9599	9	31,10	76,977
50	2,500	7,0711	5,0	15,71	100	10,000	10,0000	10,0	31,42	78,540

Важнейшие постоянные величины

Величина	Число	Логарифм числа	Величина	Число	Логарифм числа
π	3,1416	0,4972	$\frac{\pi^2}{4}$	2,4674	0,3922
2π	6,2832	0,7982	g	9,81	0,9917
$\pi\sqrt{2}$	4,4429	0,6477	g^2	96,2361	1,9833
$\frac{\pi}{2}$	1,5708	0,1961	$\sqrt{g}$	3,1321	0,4958
$\frac{\pi}{3}$	1,0472	0,0200	$2\sqrt{g}$	6,2642	0,7969
$\frac{\pi}{4}$	0,7854	1,8951	$\sqrt{2g}$	4,4295	0,6464
$\frac{4\pi}{3}$	4,1888	0,6221	$\frac{1}{g}$	0,1019	1,0083
$\frac{\pi}{\sqrt{2}}$	2,2214	0,3466	$\frac{1}{2g}$	0,0510	2,7083
$\frac{1}{\pi}$	0,3183	1,5029	$\pi\sqrt{g}$	9,8398	0,9930
$\frac{1}{2\pi}$	0,1592	1,2018	$\pi\sqrt{2g}$	13,9154	1,1435
$\frac{1}{3\pi}$	0,1061	1,0257	$\pi\sqrt{g}$	1,0030	0,0013
$\frac{1}{4\pi}$	0,0796	2,9008	$\frac{\pi}{\sqrt{2g}}$	0,7093	1,8508
$\sqrt{\pi}$	1,7725	0,2486	$\frac{e}{e^2}$	2,7183 7,3891	0,4343 0,8686
$\frac{1}{\sqrt{\pi}}$	0,5642	1,7514	$\sqrt{e}$	1,6487	0,2172
π^2	9,8696	0,9943	$\frac{1}{e}$	0,3679	1,5657
$\frac{1}{\pi^2}$	0,1013	1,0057	$\frac{1}{e^2}$	0,1353	1,1314
			$\frac{1}{\sqrt{e}}$	0,6065	1,7829

Третьи степени для чисел от 1 до 109

Единицы Десяти	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	8	27	64	125	216	343	512	729
1	1 000	1 331	1 728	2 198	2 744	3 375	4 096	4 913	5 832	6 859
2	8 000	9 261	10 648	12 167	13 824	15 625	17 576	19 683	21 952	24 389
3	27 000	29 791	32 768	35 937	39 304	42 875	46 656	50 653	54 872	59 319
4	64 000	68 921	74 088	79 507	85 184	91 125	97 336	103 823	110 592	117 649
5	125 000	132 651	140 608	148 877	157 464	166 375	175 616	185 193	195 112	205 379
6	216 000	226 981	238 328	250 047	262 144	274 625	287 496	300 763	314 432	328 509
7	343 000	357 911	373 248	389 017	405 224	421 875	438 976	456 533	474 552	493 039
8	512 000	531 441	551 368	571 787	592 704	614 125	636 056	658 503	681 472	704 969
9	729 000	753 571	778 688	804 357	830 584	857 375	884 736	912 673	941 192	970 299
10	1 000 000	1 030 301	1 061 208	1 092 727	1 124 864	1 157 625	1 191 016	1 225 043	1 259 712	1 295 029

Перевод долей дюйма

Д ю й м ы			м м	Д ю й м ы			м м
доли	$\frac{1}{64} - x$	десятичные доли		доли	$\frac{1}{64} - x$	десятичные доли	
	1	0,015625	0,397		33	0,515625	13,097
$\frac{1}{32}$	2	0,03125	0,794	$\frac{17}{32}$	34	0,53125	13,494
	3	0,046875	1,191		35	0,546875	13,891
$\frac{1}{16}$	4	0,0625	1,588	$\frac{9}{16}$	36	0,5625	14,288
	5	0,078125	1,984		37	0,578125	14,684
$\frac{3}{32}$	6	0,09375	2,381	$\frac{19}{32}$	38	0,59375	15,081
	7	0,109375	2,778		39	0,609375	15,478
$\frac{1}{8}$	8	0,125	3,175	$\frac{5}{8}$	40	0,625	15,875
	9	0,140625	3,572		41	0,640625	16,272
$\frac{5}{32}$	10	0,15625	3,969	$\frac{21}{32}$	42	0,65625	16,669
	11	0,171875	4,366		43	0,671875	17,066
$\frac{3}{16}$	12	0,1875	4,763	$\frac{11}{16}$	44	0,6875	17,463
	13	0,203125	5,159		45	0,703125	17,859
$\frac{7}{32}$	14	0,21875	5,556	$\frac{23}{32}$	46	0,71875	18,256
	15	0,234375	5,953		47	0,734375	18,653
$\frac{1}{4}$	16	0,250	6,350	$\frac{3}{4}$	48	0,750	19,050
	17	0,265625	6,747		49	0,765625	19,447
$\frac{9}{32}$	18	0,28125	7,144	$\frac{25}{32}$	50	0,78125	19,844
	19	0,296875	7,541		51	0,796875	20,241
$\frac{5}{16}$	20	0,3125	7,938	$\frac{13}{16}$	52	0,8125	20,638
	21	0,328125	8,334		53	0,828125	21,034
$\frac{11}{32}$	22	0,34375	8,731	$\frac{27}{32}$	54	0,84375	21,431
	23	0,359375	9,128		55	0,859375	21,828
$\frac{3}{8}$	24	0,375	9,525	$\frac{7}{8}$	56	0,875	22,225
	25	0,390625	9,922		57	0,890625	22,622
$\frac{13}{32}$	26	0,40625	10,319	$\frac{29}{32}$	58	0,90625	23,019
	27	0,421875	10,716		59	0,921875	23,416
$\frac{7}{16}$	28	0,4375	11,113	$\frac{15}{16}$	60	0,9375	23,813
	29	0,453125	11,509		61	0,953125	24,209
$\frac{15}{32}$	30	0,46875	11,906	$\frac{31}{32}$	62	0,96875	24,606
	31	0,484375	12,303		63	0,984375	25,003
$\frac{1}{2}$	32	0,500	12,700	1	64	1,000	25,400

1 дюйм = 25,4 мм,
 1 мм = 0,0394 дюйма,
 1 фут = 12 дюймов = 305 мм.

1 кв. дюйм = 645,16 кв. мм,
 1 кв. м = 10,76 кв. футов.

Таблица 2.5

Перевод десятичных долей дюйма в миллиметры

Дюймы	мм	Дюймы	мм	Дюймы	мм	Дюймы	мм
0,001	0,025	0,210	5,33	0,500	12,70	0,800	20,32
0,002	0,051	0,220	5,59	0,510	12,95	0,810	20,57
0,003	0,076	0,230	5,84	0,520	13,21	0,820	20,83
0,004	0,102	0,240	6,10	0,530	13,46	0,830	21,08
0,005	0,127	0,250	6,35	0,540	13,72	0,840	21,34
0,006	0,152	0,260	6,60	0,550	13,97	0,850	21,59
0,007	0,178	0,270	6,86	0,560	14,22	0,860	21,84
0,008	0,203	0,280	7,11	0,570	14,48	0,870	22,10
0,009	0,229	0,290	7,37	0,580	14,73	0,880	22,35
0,010	0,254	0,300	7,62	0,590	14,99	0,890	22,61
0,020	0,508	0,310	7,87	0,600	15,24	0,900	22,86
0,030	0,762	0,320	8,13	0,610	15,49	0,910	23,11
0,040	1,016	0,330	8,38	0,620	15,75	0,920	23,37
0,050	1,270	0,340	8,64	0,630	16,00	0,930	23,62
0,060	1,524	0,350	8,89	0,640	16,26	0,940	23,88
0,070	1,778	0,360	9,14	0,650	16,51	0,950	24,13
0,080	2,032	0,370	9,40	0,660	16,76	0,960	24,38
0,090	2,286	0,380	9,65	0,670	17,02	0,970	24,64
0,100	2,540	0,390	9,91	0,680	17,27	0,980	24,89
0,110	2,794	0,400	10,16	0,690	17,53	0,990	25,15
0,120	3,048	0,410	10,41	0,700	17,78	1,000	25,40
0,130	3,302	0,420	10,67	0,710	18,03		
0,140	3,56	0,430	10,92	0,720	18,29		
0,150	3,81	0,440	11,18	0,730	18,54		
0,160	4,06	0,450	11,43	0,740	18,80		
0,170	4,32	0,460	11,68	0,750	19,05		
0,180	4,57	0,470	11,94	0,760	19,30		
0,190	4,83	0,480	12,19	0,770	19,56		
0,200	5,08	0,490	12,45	0,780	19,81		

АЛГЕБРА

Степени (m, n, p обозначают целые числа ≥ 0)

1. $a^m \cdot a^n = a^{m+n}$
2. $a^m : a^n = a^{m-n}$
3. $a^m b^m = (ab)^m$
4. $a^m : b^m = (a : b)^m$
5. $1 : a^m = (1 : a)^m = a^{-m}$
6. $(a^m)^n = a^{mn} = (a^n)^m$
7. $(-1)^n = +1$ или -1 , смотря по тому, четное ли n или нечетное
8. $a^0 = 1$; $0^n = 0$; 0^0 неопределенность
9. $a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$
10. $a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$
11. $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$
12. $(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$
13. $\frac{a^n - b^n}{a - b} = a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1}$
14. $\frac{a^{2n+1} + b^{2n+1}}{a + b} = a^{2n} - a^{2n-1}b + a^{2n-2}b^2 - \dots + b^{2n}$
15. $\frac{a^{2n} - b^{2n}}{a - b} = a^{2n-1} + a^{2n-2}b + a^{2n-3}b^2 + \dots + b^{2n-1}$
16. Формула бинома:

$$(a \pm b)^n = a^n \pm na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{2!}a^{n-2}b^2 \pm \dots \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}a^{n-3}b^3 + \dots \pm b^n$$

Корни (a, b должны быть > 0)

1. $(\sqrt[m]{a})^m = a$
2. $\sqrt[m]{a} = a^{1/m}$
3. $\sqrt[m]{ab} = \sqrt[m]{a} \cdot \sqrt[m]{b}$
4. $\sqrt[m]{a : b} = \sqrt[m]{a} : \sqrt[m]{b}$
5. $\sqrt[m]{a} \cdot \sqrt[n]{a} = \sqrt[mn]{a^{m+n}}$
6. $\sqrt[m]{1/a} = \frac{1}{\sqrt[m]{a}} = a^{-1/m}$
7. $\sqrt[m]{a^n} = (\sqrt[m]{a})^n = a^{n/m}$
8. $\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}}$
9. $\sqrt{a} \pm \sqrt{b} = \sqrt{a+b \pm 2\sqrt{ab}}$

Логарифмы

1. $\lg a = c$ обозначает, что $10^c = a$
2. $\ln a = c$ обозначает, что $e^c = a$
- e —основание натуральных логарифмов $= 2,71828\dots$
3. $\lg ac = \lg a + \lg c$
4. $\lg \frac{a}{c} = \lg a - \lg c$
5. $\lg(a^n) = n \lg a$

$$6. \lg \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \lg a$$

$$7. \lg \sqrt[n]{a^c} = \frac{c}{n} \lg a$$

$$8. \lg(10^n) = n; \quad \lg(10^{-n}) = -n; \quad \lg(a \cdot 10^n) = \lg a + n;$$

$$\lg\left(\frac{a}{10^n}\right) = \lg a - n$$

$$9. \ln x = 2,3 \lg x; \quad \lg x = 0,434 \ln x$$

Решение квадратного уравнения

В квадратном уравнении

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

мы имеем

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}.$$

Решение системы двух уравнений

$$\text{Дано } \begin{cases} Ax + By = E, \\ A_1x + B_1y = E_1. \end{cases}$$

Тогда

$$x = \frac{EB_1 - E_1B}{AB_1 - A_1B};$$

$$y = \frac{E_1A - EA_1}{AB_1 - A_1B}.$$

Решение системы трех уравнений

Дано:

$$Ax + By + Cz + D = 0,$$

$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0,$$

$$A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0.$$

$$x = \frac{D(B_1C_1 - B_2C_2) + D_1(BC_2 - B_2C) + D_2(B_1C - BC_1)}{A(B_1C_1 - B_2C_2) + A_1(B_2C - BC_2) + A_2(BC_1 - B_1C)};$$

$$y = \frac{D(A_1C_2 - A_2C_1) + D_1(A_2C - AC_2) + D_2(AC_1 - A_1C)}{A(B_1C_2 - B_2C_1) + A_1(B_2C - BC_2) + A_2(BC_1 - B_1C)};$$

$$z = \frac{D(A_2B_1 - A_1B_2) + D_1(AB_2 - A_2B) + D_2(A_1B - AB_1)}{A(B_1C_2 - B_2C_1) + A_1(B_2C - BC_2) + A_2(BC_1 - B_1C)}.$$

Применение алгебраических формул для упрощения вычислений

$$1) (a + b)^3 = a^3 + 2ab + b^3;$$

$$82^3 = (80 + 2)^3 = 6400 + 320 + 4 = 6724.$$

$$2) (a - b)^3 = a^3 - 2ab + b^3;$$

$$87^3 = (90 - 3)^3 = 8100 - 540 + 9 = 7569.$$

$$3) a^2 - b^2 = (a + b)(a - b);$$

$$37^2 - 23^2 = 60 \cdot 14 = 840.$$

$$4) ab = \left(\frac{a+b}{2}\right)^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2;$$

$$75 \cdot 25 = 50^2 - 25^2 = 2500 - 625 = 1875.$$

$$5) (a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3;$$

$$28^3 = (30 - 2)^3 = 27000 - 5400 + 360 - 8 = 21952.$$

$$6) \sqrt{a} + \sqrt{b} = \sqrt{a + b + 2\sqrt{ab}};$$

$$\sqrt{3} + \sqrt{12} = \sqrt{3 + 12 + 2\sqrt{36}} = \sqrt{27}.$$

$$7) \sqrt{a} - \sqrt{b} = \pm \sqrt{a + b - 2\sqrt{ab}};$$

$$\sqrt{3} - \sqrt{12} = -\sqrt{3 + 12 - 12} = -\sqrt{3}.$$

$$8) \frac{\sqrt{a} + \sqrt{b}}{\sqrt{a} - \sqrt{b}} = \frac{a + b + 2\sqrt{ab}}{a - b};$$

$$\frac{\sqrt{3} + \sqrt{12}}{\sqrt{3} - \sqrt{12}} = \frac{3 + 12 + 2 \cdot 6}{3 - 12} = -3.$$

В отдельных случаях вычисления могут быть значительно упрощены разложением чисел на множители и вынесением общих множителей за скобки.

$$9) \sqrt{576} = \sqrt{9 \cdot 64} = 3 \times 8 = 24.$$

$$10) 32x^2 - 36x - 81 = 0; x = \frac{36 \pm \sqrt{36^2 + 4 \cdot 32 \cdot 81}}{2 \cdot 32};$$

$$36^2 + 4 \cdot 32 \cdot 81 = 36^2 + 4 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 9 = 36^2 + 8 \cdot 36^2 = 36^2(1 + 8) = 9 \cdot 36^2;$$

$$x = \frac{36 \pm 3 \cdot 36}{2 \cdot 32}; x_1 = \frac{4 \cdot 36}{2 \cdot 32} = \frac{9}{4}; x_2 = -\frac{2 \cdot 36}{2 \cdot 32} = -\frac{9}{8}.$$

Проверка умножения и деления

$3617 \cdot 2034 = 7\,356\,978$. Сложим цифры множимого: $3+6+1+7=17$; сложим цифры $1+7=8$. Сложим цифры множителя: $2+0+3+4=9$. Перемножим $8 \cdot 9 = 72$ и еще раз сложим: $7+2=9$. Теперь сложим цифры произведения: $7+3+5+6+9+7+8=45$. Сложим $4+5=9$. Так как операции над цифрами сомножителей, с одной стороны, и произведения, с другой, привели к одному и тому же результату — 9, умножение совершено верно.

$131\,872 : 317 = 416$. Проверка основана на том, что $416 \times 317 = 131\,872$; $4+1+6=11$; $1+1=2$; $3+1+7=11$; $1+1=2$; $2+2=4$; с другой стороны: $1+3+1+8+7+2=22$; $2+2=4$. Так как $4=4$, деление совершено верно.

Арифметическая прогрессия

$$a_1 + (a_1 + d) + (a_1 + 2d) + (a_1 + 3d) + \dots$$

$$a_n = a_1 + (n - 1)d.$$

$$\text{Сумма } n \text{ членов } S_n = \frac{n}{2} (a_1 + a_n) = \frac{n}{2} [2a_1 + (n - 1)d]$$

Геометрическая прогрессия

$$a_1 + a_1 m + a_1 m^2 + a_1 m^3 + \dots$$

$$a_n = a_1 m^{n-1}$$

$$\text{Сумма } n \text{ членов } S_n = \frac{a_1(m^n - 1)}{m - 1} = \frac{a_n m - a_1}{m - 1}$$

Средние значения между A и B :

$$\text{среднее арифметическое } \frac{A+B}{2};$$

$$\text{среднее геометрическое } \sqrt{AB};$$

$$\text{среднеквадратичное } \sqrt{A^2 + B^2};$$

$$\text{среднее гармоническое } \frac{2AB}{A+B}$$

Следует заметить, что

$$\sqrt{A^2 + B^2} > \frac{A+B}{2} > \sqrt{AB} > \frac{2A}{A+B}.$$

РАЗЛОЖЕНИЕ В РЯД

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots$$

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + x^4 - x^5 + \dots$$

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + \dots$$

$$\frac{1}{(1 \pm x)^2} = 1 \mp 2x + 3x^2 \mp 4x^3 + 5x^4 \mp \dots$$

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}x^2 + \frac{1 \cdot 1 \cdot 3}{2 \cdot 4 \cdot 6}x^3 - \frac{1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8}x^4 + \dots$$

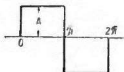
$$\sqrt{1-x} = 1 - \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} - \frac{x^3}{16} - \frac{5x^4}{128} - \frac{7x^5}{256} - \dots$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+x}} = 1 - \frac{x}{2} + \frac{3x^2}{8} - \frac{5x^3}{16} + \frac{35x^4}{128} - \frac{63x^5}{256} + \dots$$

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \frac{x^5}{5} - \dots \quad (-1 < x \leq +1);$$

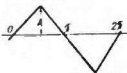
$$\ln(1-x) = -x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} - \frac{x^5}{5} - \dots \quad (-1 \leq x < +1).$$

РАЗЛОЖЕНИЕ В РЯД ФУРЬЕ



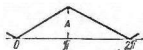
П р я м о у г о л ь н и к:

$$f(x) = \frac{4A}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right).$$



Т р е у г о л ь н и к р а в н о б е д р е н н ы й:

$$f(x) = \frac{8A}{\pi^2} \left(\sin x - \frac{1}{3^2} \sin 3x + \frac{1}{5^2} \sin 5x - \dots \right).$$



Треугольник равнобедренный:

$$f(x) = \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \left(\cos x + \frac{1}{3^2} \cos 3x + \frac{1}{5^2} \cos 5x + \dots \right)$$



Прямоугольный треугольник:

$$f(x) = \frac{2A}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{2} \sin 2x + \frac{1}{3} \sin 3x + \dots \right)$$



Прямоугольный треугольник:

$$f(x) = \frac{2A}{\pi} \left(\sin x - \frac{1}{2} \sin 2x + \frac{1}{3} \sin 3x - \dots \right)$$

НЕОПРЕДЕЛЕННЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

$$\int (x+a)^m dx = \frac{1}{m+1} (x+a)^{m+1}$$

$$\int \frac{dx}{a+x} = \lg(a+x)$$

$$\int \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{x}{a}$$

$$\int \frac{dx}{a^2-x^2} = \frac{1}{2a} \lg \frac{a+x}{a-x}$$

$$\int \sqrt{x^2 \pm a^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{x^2 \pm a^2} \pm \frac{a^2}{2} \lg(x + \sqrt{x^2 \pm a^2})$$

$$\int \sqrt{a^2 - x^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{a^2 - x^2} + \frac{a^2}{2} \arcsin \left(\frac{x}{a} \right)$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \lg(x + \sqrt{x^2 \pm a^2})$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \arcsin \left(\frac{x}{a} \right);$$

$$\int \sin x dx = -\cos x;$$

$$\int \cos x dx = \sin x$$

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \operatorname{tg} \left(\frac{x}{2} \right);$$

$$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{x}{2} \right)$$

$$\int \frac{dx}{\sin x \cos x} = \lg \operatorname{tg} x;$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x;$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x$$

$$\int \sin^2 x dx = -\frac{1}{2} \sin x \cos x + \frac{x}{2}$$

$$\int \cos^2 x dx = \frac{1}{2} \sin x \cos x + \frac{x}{2}$$

$$\int e^x dx = e^x; \int a^x dx = \frac{1}{\lg a} a^x.$$

ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

$$\int_0^{\infty} e^{-x} dx = 1$$

$$\int_0^{\infty} e^{-x^2} dx = \frac{1}{2} \sqrt{\pi}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{dx}{a + bx^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{ab}}$$

$$\int_0^{\infty} \cos(x^2) dx = \int_0^{\infty} \sin(x^2) dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

$$\int_0^{\pi} \ln \cos x dx = \int_0^{\pi} \ln \sin x dx = -\pi \ln 2$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\sin bx}{x} dx = \frac{\pi}{2}, \quad \text{при } b > 0$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\lg x}{x} dx = \frac{\pi}{2}$$

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Если a, b, c и d малы сравнительно с единицей, а α не превосходит 2° и выражено в радианах, то в первом приближении можно принять:

$$(1 \pm a)(1 \pm b)(1 \pm c) \dots = 1 \pm a \pm b \pm c \pm \dots$$

$$(1 \pm a)^2 = 1 \pm 2a$$

$$(1 \pm a)^n = 1 \pm na$$

$$\sqrt{1 \pm a} = 1 \pm \frac{1}{2}a$$

$$\sqrt{ab} = \frac{1}{2}(a + b)$$

$$\frac{1}{1 \pm a} = 1 \mp a$$

$$\frac{1}{(1 \pm a)^n} = 1 \mp na$$

$$\frac{1}{(1 \pm a)^n} = 1 \mp na$$

$$\frac{(1 \pm a)(1 \pm b)}{(1 \pm c)(1 \pm d)} = 1 \pm a \pm b \mp c \mp d$$

$$e^a = 1 + a$$

$$\lg_e(1 + a) = a - \frac{a^2}{2}$$

$$\sin(\theta \pm \alpha) = \sin \theta \pm \alpha \cos \theta$$

$$\cos(\theta \pm \alpha) = \cos \theta \mp \alpha \sin \theta$$

$$\text{РАДИАННАЯ МЕРА} \left(\text{arc } A^\circ = \frac{\pi A}{180} \right)$$

Таблица 2.6

	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
0°	0,000	0,017	0,035	0,052	0,069	0,087	0,105	0,122	0,139	0,157
10°	0,174	0,192	0,209	0,221	0,244	0,262	0,279	0,297	0,314	0,332
20°	0,349	0,367	0,384	0,401	0,419	0,436	0,454	0,471	0,489	0,506
30°	0,524	0,541	0,559	0,576	0,593	0,611	0,628	0,646	0,663	0,681
40°	0,698	0,716	0,733	0,750	0,768	0,785	0,803	0,820	0,838	0,855
50°	0,873	0,890	0,908	0,925	0,942	0,960	0,977	0,995	1,012	1,030
60°	1,047	1,065	1,082	1,100	1,117	1,134	1,152	1,169	1,187	1,204
70°	1,222	1,239	1,257	1,274	1,292	1,309	1,326	1,344	1,361	1,379
80°	1,396	1,414	1,431	1,449	1,466	1,484	1,501	1,518	1,536	1,553
90°	1,571	1,588	1,606	1,623	1,641	1,658	1,676	1,693	1,710	1,728

1" ... 0,0000485
2" ... 0,0000970
3" ... 0,0001454

6" ... 0,00002909
7" ... 0,00003394
8" ... 0,00003879

1' ... 0,000291
2' ... 0,000582
3' ... 0,000873

6' ... 0,001745
7' ... 0,002036
8' ... 0,002327

4" ... 0,00001939
5" ... 0,00002424

9" ... 0,00004363
10" ... 0,00004848

4' ... 0,001164
5' ... 0,001454

9' ... 0,002618
10' ... 0,002909

$90^\circ \dots \frac{1}{2} \pi = 1,57080$
 $180^\circ \dots \pi = 3,14159$
 $270^\circ \dots \frac{3}{2} \pi = 4,71239$
 $360^\circ \dots 2\pi = 6,28319$

$\pi = 3,141592653589\dots$
 $\frac{1}{\pi} = 0,31830$
 $\lg \pi = 0,497$
 $\sqrt{\pi} = 1,772$

Радян содержит

$\rho = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ 17' 44",8$

в градусах $\rho^\circ = 57^\circ,30$;
в минутах $\rho' = 3438$;
в секундах $\rho'' = 206265$.

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

$$\sin^2 a + \cos^2 a = 1$$

$$\sin a = \frac{1}{\operatorname{cosec} a} = \sqrt{1 - \cos^2 a} = \frac{\operatorname{tg} a}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 a}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 a}}$$

$$\cos a = \frac{1}{\sec a} = \sqrt{1 - \sin^2 a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 a}} = \frac{\operatorname{ctg} a}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 a}}$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{1}{\operatorname{ctg} a} = \frac{\sin a}{\cos a} = \frac{\sin a}{\sqrt{1 - \sin^2 a}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 a}}{\cos a}$$

$$\operatorname{ctg} a = \frac{1}{\operatorname{tg} a} = \frac{\cos a}{\sin a} = \frac{\cos a}{\sqrt{1 - \cos^2 a}} = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 a}}{\sin a}$$

$$\sin(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$$

$$\cos(a \pm b) = \cos a \cos b \mp \sin a \sin b$$

$$\operatorname{tg}(a \pm b) = \frac{\operatorname{tg} a \pm \operatorname{tg} b}{1 \mp \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\operatorname{ctg}(a \pm b) = \frac{\operatorname{ctg} a \operatorname{ctg} b \mp 1}{\operatorname{ctg} b \pm \operatorname{ctg} a}$$

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos a}{2}}$$

$$\sin a \pm \sin b = 2 \sin \frac{a \pm b}{2} \cos \frac{a \mp b}{2}$$

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}$$

$$\cos a - \cos b = -2 \sin \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2}$$

$$\sin 45^\circ = \cos 45^\circ =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{2}$$

$$\operatorname{tg} 45^\circ = \operatorname{ctg} 45^\circ = 1$$

$$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ =$$

$$= \frac{1}{2}$$

$$\cos 30^\circ = \sin 60^\circ =$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$\operatorname{tg} 30^\circ = \operatorname{ctg} 60^\circ =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3}} = \frac{1}{3} \sqrt{3}$$

$$\sin 2a = 2 \sin a \cos a$$

$$\cos 2a = \cos^2 a - \sin^2 a$$

$$\operatorname{tg} 2a = \frac{2 \operatorname{tg} a}{1 - \operatorname{tg}^2 a}$$

$$\operatorname{ctg} 2a = \frac{\operatorname{ctg}^2 a - 1}{2 \operatorname{ctg} a}$$

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos a}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \frac{\sin a}{1 + \cos a} = \frac{1 - \cos a}{\sin a}$$

$$\cos a \pm \sin a = \sqrt{2} \sin \left(\frac{\pi}{4} \pm a \right) = \sqrt{2} \cos \left(\frac{\pi}{4} \mp a \right)$$

Значение тригонометрических функций вычисляется с помощью рядов

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!} - \dots, x < \infty,$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \frac{x^8}{8!} - \dots, x < \infty;$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2}{15}x^5 + \frac{17}{315}x^7 + \frac{62}{2835}x^9 + \dots, -\frac{\pi}{2} < x < \frac{\pi}{2};$$

$$\operatorname{ctg} x = \frac{1}{x} - \frac{x}{3} + \frac{x^3}{45} - \frac{2}{945}x^5 + \frac{1}{4725}x^7 - \dots, -\pi < x < \pi,$$

Можно принимать:

$\sin x \approx x$ по избытку

$$\begin{aligned} \alpha &< 0,00001 \text{ при } x \leq 0,03897 = 2^\circ 14', \\ \alpha &< 0,0001 \text{ » } x \leq 0,0840 = 4^\circ 48' 46'', \\ \alpha &< 0,001 \text{ » } x \leq 0,118 = 6^\circ 45' 39''. \end{aligned}$$

$\sin x \approx x - \frac{x^3}{6}$ по недостатку

$$\begin{aligned} \alpha &< 0,00001 \text{ при } x \leq 0,28000 = 16^\circ 2' 34'', \\ \alpha &< 0,0001 \text{ » } x \leq 0,4690 = 26^\circ 52' 18'', \\ \alpha &< 0,001 \text{ » } x \leq 0,744 = 42^\circ 37' 41''. \end{aligned}$$

$\cos x \approx 1$ по избытку

$$\begin{aligned} \alpha &< 0,00001 \text{ при } x \leq 0,00400 = 0^\circ 13' 45'', \\ \alpha &< 0,0001 \text{ » } x \leq 0,0140 = 0^\circ 48' 8'', \\ \alpha &< 0,001 \text{ » } x \leq 0,044 = 2^\circ 31' 16''. \end{aligned}$$

$\cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}$ по недостатку

$$\begin{aligned} \alpha &< 0,00001 \text{ при } x \leq 0,146 = 8^\circ 21' 55'', \\ \alpha &< 0,0001 \text{ » } x \leq 0,259 = 14^\circ 50' 22'', \\ \alpha &< 0,001 \text{ » } x \leq 0,462 = 26^\circ 28' 15''. \end{aligned}$$

$\operatorname{tg} x \approx x$ по недостатку

$$\begin{aligned} \alpha &< 0,00001 \text{ при } x \leq 0,003 = 0^\circ 10' 19'', \\ \alpha &< 0,0001 \text{ » } x \leq 0,006 = 0^\circ 20' 38'', \\ \alpha &< 0,001 \text{ » } x \leq 0,010 = 0^\circ 34' 23''. \end{aligned}$$

$\operatorname{tg} x \approx x + \frac{x^3}{3}$ по недостатку

$$\begin{aligned} \alpha &< 0,00001 \text{ при } x \leq 0,170 = 9^\circ 44' 25'', \\ \alpha &< 0,0001 \text{ » } x \leq 0,269 = 15^\circ 24' 45'', \\ \alpha &< 0,001 \text{ » } x \leq 0,427 = 24^\circ 27' 55''. \end{aligned}$$

Перевод градусного измерения в радианы производится при помощи формулы:

$$\varphi_{\text{рад}} = \frac{\pi}{180^\circ} \varphi^\circ.$$

Градусы	С м н у с						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	89
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	88
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0436	0,0465	0,0494	87
3	0,0523	0,0552	0,0581	0,0610	0,0640	0,0669	86
4	0,0698	0,0727	0,0756	0,0785	0,0814	0,0843	85
5	0,0872	0,0901	0,0928	0,0958	0,0987	0,1016	84
6	0,1045	0,1074	0,1103	0,1132	0,1161	0,1189	83
7	0,1219	0,1248	0,1276	0,1305	0,1334	0,1363	82
8	0,1392	0,1421	0,1449	0,1478	0,1507	0,1536	81
9	0,1564	0,1593	0,1622	0,1651	0,1679	0,1708	80
10	0,1737	0,1765	0,1794	0,1822	0,1851	0,1879	79
11	0,1908	0,1937	0,1965	0,1992	0,2022	0,2051	78
12	0,2079	0,2108	0,2136	0,2162	0,2193	0,2221	77
13	0,2249	0,2278	0,2306	0,2335	0,2363	0,2391	76
14	0,2419	0,2447	0,2476	0,2502	0,2532	0,2560	75
15	0,2588	0,2616	0,2644	0,2672	0,2700	0,2728	74
16	0,2756	0,2784	0,2812	0,2840	0,2868	0,2896	73
17	0,2924	0,2952	0,2979	0,3007	0,3035	0,3063	72
18	0,3090	0,3118	0,3146	0,3173	0,3201	0,3228	71
19	0,3256	0,3283	0,3311	0,3338	0,3366	0,3393	70
20	0,3420	0,3448	0,3475	0,3502	0,3529	0,3557	69

	60°	50°	40°	30°	20°	10°	Гранулы
21	0,3584	0,3611	0,3638	0,3665	0,3692	0,3719	68
22	0,3746	0,3773	0,3799	0,3827	0,3854	0,3881	67
23	0,3907	0,3934	0,3961	0,3987	0,4014	0,4041	66
24	0,4067	0,4094	0,4120	0,4147	0,4173	0,4199	65
25	0,4226	0,4253	0,4279	0,4305	0,4331	0,4358	64
26	0,4384	0,4409	0,4436	0,4462	0,4488	0,4514	63
27	0,4539	0,4566	0,4592	0,4618	0,4643	0,4669	62
28	0,4695	0,4720	0,4746	0,4772	0,4797	0,4823	61
29	0,4848	0,4873	0,4899	0,4924	0,4949	0,4975	60
30	0,5000	0,5025	0,5050	0,5075	0,5100	0,5125	59
31	0,5150	0,5175	0,5200	0,5225	0,5249	0,5275	58
32	0,5299	0,5324	0,5348	0,5373	0,5398	0,5422	57
33	0,5446	0,5471	0,5495	0,5519	0,5544	0,5568	56
34	0,5592	0,5616	0,5640	0,5664	0,5688	0,5712	55
35	0,5736	0,5759	0,5783	0,5807	0,5831	0,5854	54
36	0,5878	0,5901	0,5925	0,5948	0,5972	0,5995	53
37	0,6018	0,6041	0,6065	0,6088	0,6111	0,6134	52
38	0,6157	0,6179	0,6202	0,6225	0,6248	0,6271	51
39	0,6293	0,6316	0,6338	0,6361	0,6383	0,6406	50
40	0,6428	0,6450	0,6472	0,6495	0,6517	0,6539	49
41	0,6561	0,6582	0,6604	0,6626	0,6648	0,6669	48
42	0,6691	0,6713	0,6734	0,6756	0,6777	0,6799	47
43	0,6820	0,6841	0,6862	0,6884	0,6905	0,6926	46
44	0,6947	0,6967	0,6988	0,7009	0,7029	0,7051	45
45	0,7071						44

КОСИНУСЫ И СИНУСЫ

Таблица 2.8

Градусы	К о с и н у с						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	89
1	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9995	88
2	0,9994	0,9993	0,9992	0,9990	0,9989	0,9988	87
3	0,9986	0,9985	0,9983	0,9981	0,9979	0,9978	86
4	0,9976	0,9974	0,9971	0,9969	0,9967	0,9964	85
5	0,9962	0,9959	0,9957	0,9954	0,9951	0,9948	84
6	0,9945	0,9942	0,9939	0,9936	0,9932	0,9929	83
7	0,9926	0,9922	0,9918	0,9914	0,9911	0,9907	82
8	0,9903	0,9899	0,9894	0,9890	0,9886	0,9881	81
9	0,9877	0,9872	0,9868	0,9863	0,9858	0,9853	80
10	0,9868	0,9843	0,9838	0,9832	0,9826	0,9822	79
11	0,9816	0,9811	0,9805	0,9799	0,9793	0,9788	78
12	0,9782	0,9775	0,9769	0,9763	0,9757	0,9750	77
13	0,9744	0,9737	0,9730	0,9724	0,9717	0,9710	76
14	0,9703	0,9696	0,9689	0,9682	0,9674	0,9667	75
15	0,9659	0,9652	0,9644	0,9636	0,9629	0,9621	74
16	0,9613	0,9605	0,9596	0,9588	0,9580	0,9572	73
17	0,9563	0,9555	0,9546	0,9537	0,9528	0,9519	72
18	0,9511	0,9502	0,9492	0,9488	0,9474	0,9465	71
19	0,9455	0,9446	0,9436	0,9423	0,9417	0,9407	70
20	0,9399	0,9387	0,9377	0,9367	0,9357	0,9346	69

	С м е н у с					Градусы	
	6'	50'	40'	30'	20'	10'	
21	0,9336	0,9325	0,9315	0,9304	0,9294	0,9283	68
22	0,9272	0,9261	9,9249	0,9239	0,9228	0,9216	67
23	0,9205	0,9194	0,9182	0,9171	0,9159	0,9147	66
24	0,9136	0,9124	0,9112	0,9099	0,9088	0,9075	65
25	0,9063	0,9051	0,9038	0,9026	0,9013	0,9001	64
26	0,8988	0,8975	0,8962	0,8949	0,8936	0,8923	63
27	0,8910	0,8897	0,8883	0,8870	0,8857	0,8843	62
28	0,8829	0,8816	0,8802	0,8788	0,8774	0,8760	61
29	0,8746	0,8732	0,8718	0,8704	0,8689	0,8675	60
30	0,8660	0,8646	0,8631	0,8616	0,8601	0,8587	59
31	0,8572	0,8557	0,8542	0,8526	0,8511	0,8496	58
32	0,8480	0,8465	0,8449	0,8434	0,8418	0,8403	57
33	0,8387	0,8371	0,8355	0,8339	0,8323	0,8307	56
34	0,8290	0,8274	0,8258	0,8241	0,8225	0,8208	55
35	0,8192	0,8175	0,8158	0,8141	0,8124	0,8107	54
36	0,8090	0,8073	0,8056	0,8039	0,8021	0,8004	53
37	0,7986	0,7969	0,7951	0,7934	0,7916	0,7898	52
38	0,7880	0,7862	0,7844	0,7826	0,7808	0,7789	51
39	0,7772	0,7753	0,7735	0,7716	0,7698	0,7679	50
40	0,7660	0,7642	0,7623	0,7604	0,7585	0,7566	49
41	0,7547	0,7528	0,7509	0,7489	0,7470	0,7451	48
42	0,7431	0,7412	0,7392	0,7373	0,7353	0,7333	47
43	0,7313	0,7294	0,7274	0,7254	0,7234	0,7214	46
44	0,7193	0,7173	0,7153	0,7133	0,7112	0,7092	45
45	0,7071						44

ТАНГЕНСЫ И КОТАНГЕНСЫ

Таблица 2.9

Градусы	Т а н г е н с						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	86
4	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	84
6	0,105	0,108	0,111	0,114	0,117	0,120	83
7	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	82
8	0,141	0,144	0,146	0,149	0,152	0,155	81
9	0,158	0,161	0,164	0,167	0,170	0,173	80
10	0,176	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	79
11	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,210	78
12	0,213	0,216	0,219	0,222	0,225	0,228	77
13	0,231	0,234	0,237	0,240	0,243	0,246	76
14	0,249	0,252	0,256	0,259	0,262	0,265	75
15	0,268	0,271	0,274	0,277	0,280	0,284	74
16	0,287	0,290	0,293	0,296	0,299	0,303	73
17	0,306	0,309	0,312	0,315	0,318	0,322	72
18	0,325	0,328	0,331	0,335	0,338	0,341	71
19	0,344	0,348	0,351	0,354	0,357	0,361	70
20	0,364	0,367	0,371	0,374	0,377	0,381	69

	60'	50'	40'	30'	20'	10'	Гранулы
21	0,384	0,387	0,391	0,394	0,397	0,401	68
22	0,404	0,407	0,411	0,414	0,418	0,421	67
23	0,424	0,428	0,431	0,435	0,438	0,442	66
24	0,445	0,449	0,452	0,456	0,459	0,463	65
25	0,466	0,470	0,473	0,477	0,481	0,484	64
26	0,488	0,491	0,495	0,499	0,502	0,506	63
27	0,510	0,513	0,517	0,521	0,524	0,528	62
28	0,532	0,535	0,539	0,543	0,547	0,551	61
29	0,554	0,558	0,562	0,566	0,570	0,573	60
30	0,577	0,581	0,585	0,589	0,593	0,597	59
31	0,601	0,605	0,609	0,613	0,617	0,621	58
32	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645	57
33	0,649	0,654	0,658	0,662	0,666	0,670	56
34	0,675	0,679	0,683	0,687	0,692	0,696	55
35	0,700	0,705	0,709	0,713	0,718	0,722	54
36	0,727	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749	53
37	0,754	0,758	0,763	0,767	0,772	0,777	52
38	0,781	0,786	0,791	0,795	0,800	0,805	51
39	0,810	0,815	0,819	0,824	0,829	0,834	50
40	0,839	0,844	0,849	0,854	0,859	0,864	49
41	0,869	0,874	0,879	0,885	0,890	0,895	48
42	0,900	0,906	0,911	0,916	0,922	0,927	47
43	0,933	0,938	0,943	0,949	0,955	0,960	46
44	0,966	0,971	0,977	0,983	0,988	0,994	45
45	1,000						44

КОТАНГЕНСЫ И ТАНГЕНСЫ

Таблица 2.10

Градусы	К О Т А Н Г Е Н С						
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	
0	∞	343,8	171,9	114,6	85,94	68,75	89
1	57,29	49,10	42,96	38,19	34,37	31,24	88
2	28,64	26,43	24,54	22,90	21,47	20,21	87
3	19,08	18,07	17,17	16,35	15,60	14,92	86
4	14,30	13,73	13,20	12,71	12,25	11,83	85
5	11,43	11,06	10,71	10,39	10,08	9,788	84
6	9,514	9,255	9,010	8,777	8,556	8,345	83
7	8,144	7,953	7,770	7,596	7,429	7,269	82
8	7,115	6,968	6,827	6,691	6,561	6,435	81
9	6,314	6,197	6,084	5,976	5,871	5,769	80
10	5,671	5,576	5,485	5,396	5,309	5,226	79
11	5,145	5,066	4,989	4,915	4,843	4,773	78
12	4,705	4,638	4,574	4,511	4,449	4,390	77
13	4,331	4,275	4,219	4,165	4,113	4,061	76
14	4,011	3,962	3,914	3,867	3,821	3,766	75
15	3,732	3,689	3,647	3,606	3,566	3,526	74
16	3,487	3,450	3,412	3,376	3,340	3,305	73
17	2,271	3,237	3,204	3,172	3,140	3,108	72
18	3,078	4,047	3,018	2,989	2,960	2,932	71
19	2,904	2,877	2,850	2,824	2,798	2,773	70
20	2,747	2,723	2,699	2,675	2,651	2,628	69

Значения синуса от 0° до 1° и косинуса от 89° до 90° через 1'

0°	Синус	0°	Синус	0°	Синус	0°	Синус
0	0,00000	60	0,00611	39	0,01193	19	0,01193
1	0,00029	59	0,00640	38	0,01222	18	0,01222
2	0,00058	58	0,00669	37	0,01251	17	0,01251
3	0,00087	57	0,00698	36	0,01280	16	0,01280
4	0,00116	56	0,00727	35	0,01309	15	0,01309
5	0,00145	55	0,00756	34	0,01338	14	0,01338
6	0,00174	54	0,00785	33	0,01367	13	0,01367
7	0,00204	53	0,00814	32	0,01396	12	0,01396
8	0,00233	52	0,00843	31	0,01425	11	0,01425
9	0,00262	51	0,00873	30	0,01454	10	0,01454
10	0,00291	50	0,00902	29	0,01483	9	0,01483
11	0,00320	49	0,00931	28	0,01512	8	0,01512
12	0,00349	48	0,00960	27	0,01542	7	0,01542
13	0,00378	47	0,00989	26	0,01571	6	0,01571
14	0,00407	46	0,01018	25	0,01600	5	0,01600
15	0,00436	45	0,01047	24	0,01629	4	0,01629
16	0,00465	44	0,01076	23	0,01658	3	0,01658
17	0,00494	43	0,01105	22	0,01687	2	0,01687
18	0,00524	42	0,01134	21	0,01716	1	0,01716
19	0,00553	41	0,01163	20	0,01745	0	0,01745
20	0,00582	40					
	Косинус	89°	Косинус		Косинус		89°

СИМВОЛИЧЕСКИЙ МЕТОД (КОМПЛЕКСНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ)¹

Метод векторных диаграмм дает ясное представление о взаимных соотношениях изменяющихся величин, характеризующих явления в простых цепях синусоидальных переменных токов. Однако определение числовых значений этих величин путем геометрического построения векторных диаграмм не всегда дает желаемую точность благодаря погрешностям, свойственным всем графическим методам. Кроме того, векторные диаграммы для разветвленных цепей получаются иногда чересчур сложными.

Аналитические способы определения величин имеют весьма большие преимущества перед графическими. В электротехнике из аналитических методов наибольшее распространение получил так называемый символический метод, т. е. применение комплексных чисел. Этот метод дает возможность выражать соотношения между величинами, изменяющимися по закону синуса, весьма простыми наглядными алгебраическими уравнениями и применять для цепей переменного тока основные законы электрических цепей (закон Ома и законы Кирхгофа) в той же форме, как и для цепей постоянного тока.

Комплексом, или комплексным числом в математике называют алгебраическую сумму, состоящую из действительного или вещественного числа и так называемого мнимого числа, представляющего собой корень квадратный из отрицательного числа.

Рассматривая подкоренное отрицательное число как произведение положительного числа на отрицательную единицу, мы можем представить такой корень как произведение корня из положительного числа на корень из отрицательной единицы, например:

$$a + \sqrt{-b^2} = a + \sqrt{-1} \cdot b = a + j \cdot b.$$

Графически комплексы могут быть представлены в так называемой числовой плоскости в виде отрезков, имеющих определенное направление, или в виде условных векторов, равных геометрической сумме двух отрезков, отложенных в выбранном масштабе (например, 1 мм длины равен m единицам) по двум взаимно перпендикулярным осям: одной — так называемой оси действительных значений и другой — повернутой относительно первой на 90° против часовой стрелки, так называемой оси мнимых значений (рис. 2. 1). В зависимости от знаков a и b эти числа откладываются по положительному или по отрицательному направлению этих осей. Оси, сохраняя взаимно перпендикулярное расположение, могут занимать на чертеже любое положение.

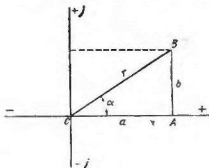


Рис. 2. 1

¹ Данный раздел составлен по гл. V учебника К. А. Круг «Основы электротехники», изд. 4-е, ОНТИ, 1936.

В американской литературе принято еще обозначать комплексы через модуль, к которому рядом приписывается угол, например:

$$re^{j\alpha} = r \cos \alpha + jr \sin \alpha = r \angle \alpha;$$

$$ye^{-j\varphi} = y \cos \varphi + jy \sin \varphi = y \angle -\varphi, \text{ или } y \angle \overline{\varphi}.$$

По отношению к комплексам имеют силу следующие положения:

1. Два комплекса равны между собой, если порознь равны их действительные и мнимые части, например, если

$$a = c \text{ и } b = d, \text{ то } a + jb = c + jd.$$

2. При суммировании комплексов их действительные и мнимые части складываются отдельно:

$$a + jb + c + jd = (a + c) + j(b + d).$$

3. Два комплекса называются сопряженными, если их действительные части равны, а мнимые имеют противоположные знаки, или, что то же самое, если они имеют один и тот же модуль, но углы поворота их равны и имеют противоположные знаки, например:

$$a + jb = \sqrt{a^2 + b^2} \cdot e^{j\alpha} \text{ и } a - jb = \sqrt{a^2 + b^2} \cdot e^{-j\alpha}; \quad \text{arc tg } \alpha = \frac{b}{a}.$$

Произведение двух сопряженных комплексов равно квадрату модуля:

$$(a + jb)(a - jb) = \sqrt{a^2 + b^2} \cdot e^{j\alpha} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot e^{-j\alpha} = a^2 + b^2 = r^2.$$

4. Произведение двух произвольных комплексов

$a + jb = r_1 (\cos \alpha + j \sin \alpha) = r_1 e^{j\alpha}$ и $c + jd = r_2 (\cos \beta + j \sin \beta) = r_2 e^{j\beta}$ дает комплекс:

$$(a + jb)(c + jd) = ac - bd + j(bc + ad) = r_1 r_2 e^{j(\alpha + \beta)} =$$

$$= \sqrt{(a^2 + b^2)(c^2 + d^2)} [\cos(\alpha + \beta) + j \sin(\alpha + \beta)].$$

5. Частное от деления двух комплексов равно комплексу:

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{(a + jb)(c - jd)}{(c + jd)(c - jd)} = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{(bc - ad)}{c^2 + d^2} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\alpha - \beta)} =$$

$$= \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{c^2 + d^2}} [\cos(\alpha - \beta) + j \sin(\alpha - \beta)].$$

6. Корень из комплекса может быть приведен к простому комплексу:

$$\sqrt[n]{a + jb} = \sqrt[n]{re^{j\alpha}} = \sqrt[n]{a^2 + b^2} e^{j\frac{\alpha}{n}} = \sqrt[n]{a^2 + b^2} \left(\cos \frac{\alpha}{n} + j \sin \frac{\alpha}{n} \right),$$

или

$$\sqrt[n]{\frac{a + jb}{c + jd}} = \sqrt[n]{\frac{r_1 e^{j\alpha}}{r_2 e^{j\beta}}} = \sqrt[n]{\frac{a^2 + b^2}{c^2 + d^2}} \left(\cos \frac{\alpha - \beta}{n} + j \sin \frac{\alpha - \beta}{n} \right).$$

7. Из уравнения $e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$ следует, что если α приравнять

$$\alpha = \pm \frac{\pi}{2}, \pm \pi, \pm \frac{3\pi}{2}, \pm 2\pi,$$

то

$$e^{j\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{\pi}{2} + j \sin \frac{\pi}{2} = +j; \quad e^{-j\frac{\pi}{2}} = \cos \left(-\frac{\pi}{2}\right) + j \sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) = -j;$$

$$e^{\pm j\pi} = \cos (\pm \pi) + j \sin (\pm \pi) = -1; \quad e^{\pm j\frac{3\pi}{2}} = \cos \left(\pm \frac{3\pi}{2}\right) + j \sin \left(\pm \frac{3\pi}{2}\right) = \mp j;$$

$$e^{\pm j2\pi} = \cos (\pm 2\pi) + j \sin (\pm 2\pi) = +1;$$

$$e^{j(\alpha \pm 2\pi)} = e^{j\alpha}.$$

8. Если комплекс изображать в виде некоторого вектора, занимающего определенное положение в числовой плоскости, то умножение комплекса на множитель $e^{j\varphi}$ равноценно повороту этого вектора на угол φ против стрелки часов, а деление вектора на $e^{j\varphi}$ (или умножение на $e^{-j\varphi}$, так как $\frac{1}{e^{j\varphi}} = e^{-j\varphi}$) равноценно повороту этого вектора на угол φ по стрелке часов.

Так как $j = e^{j\frac{\pi}{2}}$, то умножение комплекса на $+j$ соответствует повороту вектора, представленного комплексом, на 90° против часовой стрелки, а умножение на $-j = -j \frac{j}{j} = \frac{1}{j}$, т. е. деление на j — повороту вектора на 90° по часовой стрелке.

9. Приведем еще некоторые формулы преобразования комплексных величин:

$$a) j = \sqrt{-1}; \quad j^2 = -1; \quad j^3 = -j; \quad j^4 = +1; \quad j^{-1} = -j.$$

$$б) j^{4n+m} = j^m, \text{ т. е. } j^{4n} = +1;$$

$$j^{4n+1} = +j;$$

$$j^{4n+2} = -1;$$

$$j^{4n+3} = -j \text{ и т. д.}$$

$$в) \text{ Если } a + jb = 0, \text{ то } a = 0 \text{ и } b = 0;$$

$$\text{если } a + jb = c + jd, \text{ то } a = c \text{ и } b = d.$$

$$г) (a + jb)(a - jb) = a^2 + b^2.$$

$$д) \frac{1}{a + jb} = \frac{a}{a^2 + b^2} - j \frac{b}{a^2 + b^2}.$$

$$е) \pm \sqrt{a \pm jb} = \sqrt{\frac{1}{2} (\sqrt{a^2 + b^2} + a)} \pm j \sqrt{\frac{1}{2} (\sqrt{a^2 + b^2} - a)}.$$

$$ж) \frac{1}{\cos \varphi + j \sin \varphi} = \cos \varphi - j \sin \varphi.$$

$$з) (\cos \varphi \pm j \sin \varphi) (\cos \alpha \pm j \sin \alpha) = \cos (\varphi + \alpha) \pm j \sin (\varphi + \alpha).$$

$$и) \frac{\cos \varphi \pm j \sin \varphi}{\cos \alpha \pm j \sin \alpha} = \cos (\varphi - \alpha) \pm j \sin (\varphi - \alpha).$$

к) Формула Муавра (для всякого значения n);
 $(\cos \varphi \pm j \sin \varphi)^n = \cos n\varphi \pm j \sin n\varphi.$

ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ e^x и e^{-x}

e — основание натуральных логарифмов, равное 2, 71828...

Значение функций может быть вычислено с помощью рядов:

$$1) e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \text{ при всяком } x.$$

Приближенно:

$$e^x \approx 1 + x \text{ по недостатку} \quad \begin{array}{l} \text{с } \alpha < 0,0001 \text{ при } x \leq 0,019, \\ \text{» } \alpha < 0,001 \quad \text{» } x \leq 0,062. \end{array}$$

$$e^x \approx 1 + x + \frac{x^2}{2} \text{ по недостатку} \quad \begin{array}{l} \text{» } \alpha < 0,0001 \quad \text{» } x \leq 0,033, \\ \text{» } \alpha < 0,001 \quad \text{» } x \leq 0,106. \end{array}$$

$$2) e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Приближенно:

$$e^{-x} \approx 1 - x \text{ по недостатку} \quad \begin{array}{l} \text{с } \alpha < 0,0001 \text{ при } x \leq 0,02, \\ \text{» } \alpha < 0,001 \quad \text{» } x \leq 0,063. \end{array}$$

$$e^{-x} \approx 1 - x + \frac{x^2}{2} \text{ по избытку} \quad \begin{array}{l} \text{» } \alpha < 0,0001 \quad \text{» } x \leq 0,084, \\ \text{» } \alpha < 0,001 \quad \text{» } x \leq 0,181. \end{array}$$

Можно также найти $e^{\pm x}$ с помощью логарифмов, пользуясь тем, что если $N = e^x$, то $\lg N = x \cdot \lg e = x \cdot 0,434$, а при $N = e^{-x}$, $\lg N = -x \cdot 0,434$.

Зависимость между e^x и другими функциями дают следующие формулы:

$$\frac{1}{2} (e^x + e^{-x}) = \operatorname{ch} x = \cos jx = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^6}{6!} + \dots;$$

$$\frac{1}{2} (e^x - e^{-x}) = \operatorname{sh} x = -j \sin jx = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \frac{x^7}{7!} + \dots;$$

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x; \quad e^{-jx} = \cos x - j \sin x;$$

$$\frac{1}{2} (e^{jx} + e^{-jx}) = \cos x; \quad \frac{1}{2j} (e^{jx} - e^{-jx}) = \sin x.$$

Показательная функция

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
0,00	1,0000	1,0000	0,40	1,4918	0,67032
0,01	1,0101	0,99005	0,41	1,5068	0,66365
0,02	1,0202	0,98020	0,42	1,5220	0,65705
0,03	1,0305	0,97045	0,43	1,5373	0,65051
0,04	1,0408	0,96079	0,44	1,5527	0,64404
0,05	1,0513	0,95123	0,45	1,5683	0,63763
0,06	1,0618	0,94176	0,46	1,5841	0,63128
0,07	1,0725	0,93239	0,47	1,6000	0,62500
0,08	1,0833	0,92312	0,48	1,6161	0,61878
0,09	1,0942	0,91393	0,49	1,6323	0,61263
0,10	1,1052	0,90484	0,50	1,6487	0,60653
0,11	1,1163	0,89583	0,51	1,6653	0,60050
0,12	1,1275	0,88692	0,52	1,6820	0,59452
0,13	1,1388	0,87810	0,53	1,6989	0,58860
0,14	1,1503	0,86936	0,54	1,7160	0,58275
0,15	1,1618	0,86071	0,55	1,7333	0,57695
0,16	1,1735	0,85214	0,56	1,7507	0,57121
0,17	1,1853	0,84366	0,57	1,7683	0,56553
0,18	1,1972	0,83527	0,58	1,7860	0,55990
0,19	1,2092	0,82696	0,59	1,8040	0,55433
0,20	1,2214	0,81873	0,60	1,8221	0,54881
0,21	1,2337	0,81058	0,61	1,8404	0,54335
0,22	1,2461	0,80252	0,62	1,8589	0,53794
0,23	1,2586	0,79453	0,63	1,8776	0,53259
0,24	1,2712	0,78663	0,64	1,8965	0,52729
0,25	1,2840	0,77880	0,65	1,9155	0,52205
0,26	1,2969	0,77105	0,66	1,9348	0,51685
0,27	1,3100	0,76338	0,67	1,9542	0,51171
0,28	1,3231	0,75578	0,68	1,9739	0,50662
0,29	1,3364	0,74826	0,69	1,9937	0,50158
0,30	1,3499	0,74082	0,70	2,0138	0,49659
0,31	1,3634	0,73345	0,71	2,0340	0,49164
0,32	1,3771	0,72615	0,72	2,0544	0,48675
0,33	1,3910	0,71892	0,73	2,0751	0,48191
0,34	1,4049	0,71177	0,74	2,0959	0,47711
0,35	1,4191	0,70469	0,75	2,1170	0,47237
0,36	1,4333	0,69768	0,76	2,1383	0,46767
0,37	1,4477	0,69073	0,77	2,1598	0,46301
0,38	1,4623	0,68386	0,78	2,1815	0,45841
0,39	1,4770	0,67706	0,79	2,2034	0,45384

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
0,80	2,2255	0,44933	1,20	3,3201	0,30119
0,81	2,2479	0,44486	1,21	3,3535	0,29820
0,82	2,2705	0,44043	1,22	3,3872	0,29523
0,83	2,2933	0,43605	1,23	3,4212	0,29229
0,84	2,3164	0,43171	1,24	3,4556	0,28938
0,85	2,3396	0,42741	1,25	3,4903	0,28650
0,86	2,3632	0,42316	1,26	3,5254	0,28365
0,87	2,3869	0,41895	1,27	3,5609	0,28083
0,88	2,4109	0,41478	1,28	3,5966	0,27804
0,89	2,4351	0,41066	1,29	3,6328	0,27527
0,90	2,4596	0,40657	1,30	3,6693	0,27253
0,91	2,4843	0,40252	1,31	3,7062	0,26982
0,92	2,5093	0,39852	1,32	3,7434	0,26714
0,93	2,5345	0,39455	1,33	3,7810	0,26448
0,94	2,5600	0,39063	1,34	3,8190	0,26185
0,95	2,5857	0,38674	1,35	3,8574	0,25924
0,96	2,6117	0,38289	1,36	3,8962	0,25666
0,97	2,6379	0,37908	1,37	3,9354	0,25411
0,98	2,6645	0,37531	1,38	3,9749	0,25158
0,99	2,6912	0,37158	1,39	4,0149	0,24908
1,00	2,7183	0,36788	1,40	4,0552	0,24660
1,01	2,7456	0,36422	1,41	4,0960	0,24414
1,02	2,7732	0,36059	1,42	4,1371	0,24171
1,03	2,8011	0,35701	1,43	4,1787	0,23931
1,04	2,8292	0,35345	1,44	4,2207	0,23693
1,05	2,8577	0,34994	1,45	4,2631	0,23457
1,06	2,8864	0,34646	1,46	4,3060	0,23224
1,07	2,9154	0,34301	1,47	4,3492	0,22993
1,08	2,9447	0,33960	1,48	4,3929	0,22764
1,09	2,9743	0,33622	1,49	4,4371	0,22537
1,10	3,0042	0,33287	1,50	4,4817	0,22313
1,11	3,0344	0,32956	1,51	4,5267	0,22091
1,12	3,0649	0,32628	1,52	4,5722	0,21871
1,13	3,0957	0,32303	1,53	4,6182	0,21654
1,14	3,1268	0,31982	1,54	4,6646	0,21438
1,15	3,1582	0,31664	1,55	4,7115	0,21225
1,16	3,1899	0,31349	1,56	4,7588	0,21014
1,17	3,2220	0,31037	1,57	4,8066	0,20805
1,18	3,2544	0,30728	1,58	4,8550	0,20598
1,19	3,2871	0,30422	1,59	4,9037	0,20393

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
1,60	4,9530	0,20190	2,00	7,3891	0,13534
1,61	5,0028	0,19989	2,01	7,4633	0,13399
1,62	5,0531	0,19790	2,02	7,5383	0,13266
1,63	5,1039	0,19593	2,03	7,6141	0,13134
1,64	5,1552	0,19398	2,04	7,6906	0,13003
1,65	5,2070	0,19205	2,05	7,7679	0,12873
1,66	5,2593	0,19014	2,06	7,8460	0,12745
1,67	5,3122	0,18825	2,07	7,9248	0,12619
1,68	5,3656	0,18637	2,08	8,0045	0,12493
1,69	5,4195	0,18452	2,09	8,0849	0,12369
1,70	5,4739	0,18268	2,10	8,1662	0,12246
1,71	5,5290	0,18087	2,11	8,2482	0,12124
1,72	5,5845	0,17907	2,12	8,3311	0,12003
1,73	5,6407	0,17728	2,13	8,4149	0,11884
1,74	5,6973	0,17552	2,14	8,4994	0,11765
1,75	5,7546	0,17377	2,15	8,5849	0,11648
1,76	5,8124	0,17204	2,16	8,6711	0,11533
1,77	5,8709	0,17033	2,17	8,7583	0,11418
1,78	5,9299	0,16864	2,18	8,8463	0,11304
1,79	5,9895	0,16696	2,19	8,9352	0,11192
1,80	6,0496	0,16530	2,20	9,0250	0,11080
1,81	6,1104	0,16365	2,21	9,1157	0,10970
1,82	6,1719	0,16203	2,22	9,2073	0,10861
1,83	6,2339	0,16041	2,23	9,2999	0,10753
1,84	6,2965	0,15882	2,24	9,3933	0,10646
1,85	6,3598	0,15724	2,25	9,4877	0,10540
1,86	6,4237	0,15567	2,26	9,5831	0,10435
1,87	6,4883	0,15412	2,27	9,6794	0,10331
1,88	6,5535	0,15259	2,28	9,7767	0,10228
1,89	6,6194	0,15107	2,29	9,8749	0,10127
1,90	6,6859	0,14957	2,30	9,9742	0,10026
1,91	6,7531	0,14808	2,31	10,074	0,09926
1,92	6,8210	0,14661	2,32	10,176	0,09827
1,93	6,8895	0,14515	2,33	10,278	0,09730
1,94	6,9588	0,14370	2,34	10,381	0,09633
1,95	7,0287	0,14227	2,35	10,486	0,09537
1,96	7,0993	0,14086	2,36	10,591	0,09442
1,97	7,1707	0,13946	2,37	10,697	0,09348
1,98	7,2427	0,13807	2,38	10,805	0,09255
1,99	7,3155	0,13670	2,39	10,913	0,09163

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
2,40	11,023	0,09072	2,80	16,445	0,06081
2,41	11,134	0,08982	2,81	16,610	0,06020
2,42	11,246	0,08892	2,82	16,777	0,05961
2,43	11,359	0,08804	2,83	16,945	0,05901
2,44	11,473	0,08716	2,84	17,116	0,05843
2,45	11,588	0,08629	2,85	17,288	0,05784
2,46	11,705	0,08543	2,86	17,462	0,05727
2,47	11,822	0,08458	2,87	17,637	0,05670
2,48	11,941	0,08374	2,88	17,814	0,05613
2,49	12,061	0,08291	2,89	17,993	0,05558
2,50	12,182	0,08208	2,90	18,174	0,05502
2,51	12,305	0,08127	2,91	18,357	0,05448
2,52	12,429	0,08046	2,92	18,541	0,05393
2,53	12,554	0,07966	2,93	18,728	0,05340
2,54	12,680	0,07887	2,94	18,916	0,05287
2,55	12,807	0,07808	2,95	19,106	0,05234
2,56	12,936	0,07730	2,96	19,298	0,05182
2,57	13,066	0,07654	2,97	19,492	0,05130
2,58	13,197	0,07577	2,98	19,688	0,05079
2,59	13,330	0,07502	2,99	19,886	0,05029
2,60	13,464	0,07427	3,00	20,086	0,04979
2,61	13,599	0,07353	3,01	20,287	0,04929
2,62	13,736	0,07280	3,02	20,491	0,04880
2,63	13,874	0,07208	3,03	20,697	0,04832
2,64	14,013	0,07136	3,04	20,905	0,04783
2,65	14,154	0,07065	3,05	21,115	0,04736
2,66	14,296	0,06995	3,06	21,328	0,04689
2,67	14,440	0,06925	3,07	21,542	0,04642
2,68	14,585	0,06856	3,08	21,758	0,04596
2,69	14,732	0,06788	3,09	21,977	0,04550
2,70	14,880	0,06721	3,10	22,198	0,04505
2,71	15,029	0,06654	3,11	22,421	0,04460
2,72	15,180	0,06587	3,12	22,646	0,04416
2,73	15,333	0,06522	3,13	22,874	0,04372
2,74	15,487	0,06457	3,14	23,104	0,04328
2,75	15,643	0,06393	3,15	23,336	0,04285
2,76	15,800	0,06329	3,16	23,571	0,04243
2,77	15,959	0,06266	3,17	23,807	0,04200
2,78	16,119	0,06204	3,18	24,047	0,04159
2,79	16,281	0,06142	3,19	24,288	0,04117

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
3,20	24,533	0,04076	3,60	36,598	0,02732
3,21	24,779	0,04036	3,61	36,966	0,02705
3,22	25,028	0,03996	3,62	37,338	0,02678
3,23	25,280	0,03956	3,63	37,713	0,02652
3,24	25,534	0,03916	3,64	38,092	0,02625
3,25	25,790	0,03877	3,65	38,475	0,02599
3,26	26,050	0,03839	3,66	38,861	0,02573
3,27	26,311	0,03801	3,67	39,252	0,02548
3,28	26,576	0,03763	3,68	39,646	0,02522
3,29	26,843	0,03725	3,69	40,045	0,02497
3,30	27,113	0,03688	3,70	40,447	0,02472
3,31	27,385	0,03652	3,71	40,854	0,02448
3,32	27,660	0,03615	3,72	41,264	0,02423
3,33	27,938	0,03579	3,73	41,679	0,02399
3,34	28,219	0,03544	3,74	42,098	0,02375
3,35	28,503	0,03508	3,75	42,521	0,02352
3,36	28,789	0,03474	3,76	42,948	0,02328
3,37	29,079	0,03439	3,77	43,380	0,02305
3,38	29,371	0,03405	3,78	43,816	0,02282
3,39	29,666	0,03371	3,79	44,256	0,02260
3,40	29,964	0,03337	3,80	44,701	0,02237
3,41	30,265	0,03304	3,81	45,150	0,02215
3,42	30,569	0,03271	3,82	45,604	0,02193
3,43	30,877	0,03239	3,83	46,063	0,02171
3,44	31,187	0,03206	3,84	46,525	0,02149
3,45	31,500	0,03175	3,85	46,993	0,02128
3,46	31,817	0,03143	3,86	47,465	0,02107
3,47	32,137	0,03112	3,87	47,942	0,02086
3,48	32,460	0,03081	3,88	48,424	0,02065
3,49	32,786	0,03050	3,89	48,911	0,02045
3,50	33,115	0,03020	3,90	49,402	0,02024
3,51	33,448	0,02990	3,91	49,899	0,02004
3,52	33,784	0,02960	3,92	50,400	0,01984
3,53	34,124	0,02930	3,93	50,907	0,01964
3,54	34,467	0,02901	3,94	51,419	0,01945
3,55	34,813	0,02872	3,95	51,935	0,01925
3,56	35,163	0,02844	3,96	52,457	0,01906
3,57	35,517	0,02816	3,97	52,985	0,01887
3,58	35,874	0,02788	3,98	53,517	0,01869
3,59	36,234	0,02760	3,99	54,055	0,01850

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
4,00	54,598	0,01832	4,40	81,451	0,01228
4,01	55,147	0,01813	4,41	82,269	0,01216
4,02	55,701	0,01795	4,42	83,096	0,01203
4,03	56,261	0,01777	4,43	83,931	0,01191
4,04	56,826	0,01760	4,44	84,775	0,01180
4,05	57,397	0,01742	4,45	85,627	0,01168
4,06	57,974	0,01725	4,46	86,488	0,01156
4,07	58,557	0,01708	4,47	87,357	0,01145
4,08	59,145	0,01691	4,48	88,235	0,01133
4,09	59,740	0,01674	4,49	89,121	0,01122
4,10	60,340	0,01657	4,50	90,017	0,01111
4,11	60,947	0,01641	4,51	90,922	0,01100
4,12	61,559	0,01624	4,52	91,836	0,01089
4,13	62,178	0,01608	4,53	92,759	0,01078
4,14	62,803	0,01592	4,54	93,691	0,01067
4,15	63,434	0,01576	4,55	94,632	0,01057
4,16	64,072	0,01561	4,56	95,583	0,01046
4,17	64,715	0,01545	4,57	96,544	0,01036
4,18	65,366	0,01530	4,58	97,514	0,01025
4,19	66,023	0,01515	4,59	98,494	0,01015
4,20	66,686	0,01500	4,60	99,484	0,01005
4,21	67,357	0,01485	4,61	100,48	0,00995
4,22	68,033	0,01470	4,62	101,49	0,00985
4,23	68,717	0,01455	4,63	102,51	0,00975
4,24	69,408	0,01441	4,64	103,54	0,00966
4,25	70,105	0,01426	4,65	104,58	0,00956
4,26	70,810	0,01412	4,66	105,64	0,00947
4,27	71,522	0,01398	4,67	106,70	0,00937
4,28	72,240	0,01384	4,68	107,77	0,00928
4,29	72,966	0,01370	4,69	108,85	0,00919
4,30	73,700	0,01357	4,70	109,95	0,00910
4,31	74,440	0,01343	4,71	111,05	0,00900
4,32	75,189	0,01330	4,72	112,17	0,00892
4,33	75,944	0,01317	4,73	113,30	0,00883
4,34	76,708	0,01304	4,74	114,43	0,00874
4,35	77,478	0,01291	4,75	115,58	0,00865
4,36	78,257	0,01278	4,76	116,75	0,00857
4,37	79,044	0,01265	4,77	117,92	0,00848
4,38	79,838	0,01253	4,78	119,10	0,00840
4,39	80,640	0,01240	4,79	120,30	0,00831

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
4,80	121,51	0,00823	5,20	181,27	0,00552
4,81	122,73	0,00815	5,21	183,09	0,00546
4,82	123,97	0,00807	5,22	184,93	0,00541
4,83	125,21	0,00799	5,23	186,79	0,00535
4,84	126,47	0,00791	5,24	188,67	0,00530
4,85	127,74	0,00783	5,25	190,57	0,00525
4,86	129,02	0,00775	5,26	192,48	0,00520
4,87	130,32	0,00767	5,27	194,42	0,00514
4,88	131,63	0,00760	5,28	196,37	0,00509
4,89	132,95	0,00752	5,29	198,34	0,00504
4,90	134,29	0,00745	5,30	200,34	0,00499
4,91	135,64	0,00737	5,31	202,35	0,00494
4,92	137,00	0,00730	5,32	204,38	0,00489
4,93	138,38	0,00723	5,33	206,44	0,00484
4,94	139,77	0,00715	5,34	208,51	0,00480
4,95	141,17	0,00708	5,35	210,61	0,00475
4,96	142,59	0,00701	5,36	212,72	0,00470
4,97	144,03	0,00694	5,37	214,86	0,00465
4,98	145,47	0,00687	5,38	217,02	0,00461
4,99	146,94	0,00681	5,39	219,20	0,00456
5,00	148,41	0,00674	5,40	221,41	0,00452
5,01	149,90	0,00667	5,41	223,63	0,00447
5,02	151,41	0,00660	5,42	225,88	0,00443
5,03	152,93	0,00654	5,43	228,15	0,00438
5,04	154,47	0,00647	5,44	230,44	0,00434
5,05	156,02	0,00641	5,45	232,76	0,00430
5,06	157,59	0,00635	5,46	235,10	0,00425
5,07	159,17	0,00628	5,47	237,46	0,00421
5,08	160,77	0,00622	5,48	239,85	0,00417
5,09	162,39	0,00616	5,49	242,26	0,00413
5,10	164,02	0,00610	5,50	244,69	0,00409
5,11	165,67	0,00604	5,51	247,15	0,00405
5,12	167,34	0,00598	5,52	249,64	0,00401
5,13	169,02	0,00592	5,53	252,14	0,00397
5,14	170,72	0,00586	5,54	254,68	0,00393
5,15	172,43	0,00580	5,55	257,24	0,00389
5,16	174,16	0,00574	5,56	259,82	0,00385
5,17	175,91	0,00568	5,57	262,43	0,00381
5,18	177,68	0,00563	5,58	265,07	0,00377
5,19	179,47	0,00557	5,59	267,74	0,00374

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
5,60	270,43	0,00370	5,80	330,30	0,00303
5,61	273,14	0,00366	5,81	333,62	0,00300
5,62	275,89	0,00362	5,82	336,97	0,00297
5,63	278,66	0,00359	5,83	340,36	0,00294
5,64	281,46	0,00355	5,84	343,78	0,00291
5,65	284,29	0,00352	5,85	347,23	0,00288
5,66	287,15	0,00348	5,86	350,72	0,00285
5,67	290,03	0,00345	5,87	354,25	0,00282
5,68	292,95	0,00341	5,88	357,81	0,00279
5,69	295,89	0,00338	5,89	361,41	0,00277
5,70	298,87	0,00335	5,90	365,04	0,00274
5,71	301,87	0,00331	5,91	368,71	0,00271
5,72	304,90	0,00328	5,92	372,41	0,00269
5,73	307,97	0,00325	5,93	376,15	0,00266
5,74	311,06	0,00321	5,94	379,93	0,00263
5,75	314,19	0,00318	5,95	383,75	0,00261
5,76	317,35	0,00315	5,96	387,61	0,00258
5,77	320,54	0,00312	5,97	391,51	0,00255
5,78	323,76	0,00309	5,98	395,44	0,00253
5,79	327,01	0,00306	5,99	399,41	0,00250
			6,00	403,43	0,00248

ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

В радиотехнике многие вопросы (расчеты линий, антенн, четырехполюсников для регулирования громкости) решаются с помощью специальных функций — гиперболических, несколько сходных с круговыми.

Основные определения:

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2} = -\operatorname{sh}(-x);$$

$$\operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} = \operatorname{ch}(-x);$$

$$\operatorname{th} x = \frac{1}{\operatorname{cth} x} = \frac{\operatorname{sh} x}{\operatorname{ch} x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} = -\operatorname{th}(-x).$$

Обратные гиперболические функции:

$$\text{для } u = \operatorname{sh} x \text{ имеем } x = \operatorname{arsh} u = \ln(u + \sqrt{u^2 + 1});$$

$$* u = \operatorname{ch} x \quad * \quad x = \operatorname{arch} u = \ln(u \pm \sqrt{u^2 - 1});$$

$$* u = \operatorname{th} x \quad * \quad x = \operatorname{arth} u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+u}{1-u};$$

$$* u = \operatorname{cth} x \quad * \quad x = \operatorname{archth} u = \frac{1}{2} \ln \frac{u+1}{u-1}.$$

П р и м е ч а н и е. Кроме обозначений с приставкой ar обратные гиперболические функции часто обозначаются еще и через $\sinh^{-1}$, $\cosh^{-1}$, tgh^{-1} , ctgh^{-1} .

Соотношения между гиперболическими функциями:

$$\operatorname{sh}(a \pm b) = \operatorname{sh} a \cdot \operatorname{ch} b \pm \operatorname{ch} a \cdot \operatorname{sh} b;$$

$$\operatorname{ch}(a \pm b) = \operatorname{ch} a \cdot \operatorname{ch} b \pm \operatorname{sh} a \cdot \operatorname{sh} b;$$

$$\operatorname{th}(a \pm b) = \frac{\operatorname{th} a \pm \operatorname{th} b}{1 \pm \operatorname{th} a \cdot \operatorname{th} b};$$

$$\operatorname{sh} a \pm \operatorname{sh} b = 2 \operatorname{sh} \frac{a \pm b}{2} \cdot \operatorname{ch} \frac{a \mp b}{2};$$

$$\operatorname{ch} a + \operatorname{ch} b = 2 \operatorname{ch} \frac{a+b}{2} \cdot \operatorname{ch} \frac{a-b}{2};$$

$$\operatorname{th} a \pm \operatorname{th} b = \frac{\operatorname{sh}(a \pm b)}{\operatorname{ch} a \cdot \operatorname{ch} b};$$

$$\operatorname{sh} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} (\operatorname{ch} a - 1)} \quad \text{и} \quad \operatorname{ch} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} (\operatorname{ch} a + 1)}$$

$$(\operatorname{sh} a \pm \operatorname{ch} a)^n = \operatorname{ch} na \pm \operatorname{sh} na;$$

$$\operatorname{sh} 2a = 2 \operatorname{sh} a \cdot \operatorname{ch} a = \frac{2 \operatorname{th} a}{1 - \operatorname{th}^2 a};$$

$$\operatorname{ch} 2a = \operatorname{ch}^2 a + \operatorname{sh}^2 a = 2 \operatorname{ch}^2 a - 1 = 2 \operatorname{sh}^2 a + 1;$$

$$\operatorname{ch}^2 a - \operatorname{sh}^2 a = 1;$$

$$\operatorname{ch} a + \operatorname{sh} a = e^a;$$

$$\operatorname{ch} a - \operatorname{sh} a = e^{-a};$$

$$\operatorname{th} a \cdot \operatorname{cth} a = 1;$$

$$\operatorname{ch}^2 a = \frac{1}{1 - \operatorname{th}^2 a};$$

$$\operatorname{sh}^2 a = \frac{\operatorname{th}^2 a}{1 - \operatorname{th}^2 a};$$

$$\operatorname{th} \frac{a}{2} = \frac{\operatorname{ch} a - 1}{\operatorname{sh} a} = \frac{\operatorname{sh} a}{\operatorname{ch} a + 1};$$

$$\operatorname{th} 2a = \frac{2 \operatorname{th} a}{1 - \operatorname{th}^2 a}.$$

При вещественных значениях аргумента a $\operatorname{sh} a$ может принимать любые положительные или отрицательные значения:

$$\operatorname{ch} a \geq 1,$$

$$\operatorname{th}^2 a < 1,$$

$$\operatorname{cth}^2 a > 1.$$

Вычисление гиперболических функций может быть произведено при помощи следующих рядов:

$$\operatorname{sh} x = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\operatorname{ch} x = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\operatorname{th} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \frac{17x^7}{315} + \frac{62x^9}{2835} + \dots$$

$$\operatorname{cth} x = \frac{1}{x} - \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} - \frac{2x^5}{945} - \frac{x^7}{4725} - \dots$$

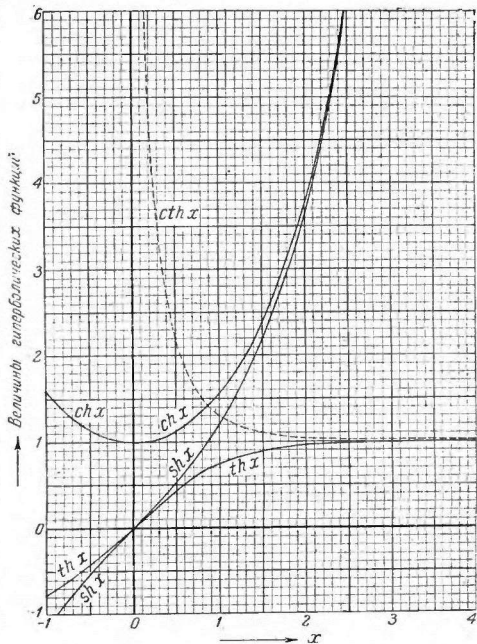


Рис. 2. 2. Характер изменения величины основных гиперболических функций.

Таблица 2.13

Гиперболические функции

Значения $\begin{cases} \operatorname{sh} x \\ \operatorname{ch} x \\ \operatorname{th} x \end{cases}$ для $0 < x < 5,89$

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000 1,0000 0,0000	0,0100 1,0001 0,0100	0,0200 1,0002 0,0200	0,0300 1,0005 0,0300	0,0400 1,0008 0,0400	0,0500 1,0013 0,0500	0,0600 1,0018 0,0599	0,0701 0,0025 0,0699	0,0801 1,0032 0,0798	0,0901 1,0041 0,0898
0,1	0,1002 1,0050 0,0997	0,1102 1,0061 0,1096	0,1203 1,0072 0,1194	0,1304 1,0085 0,1293	0,1405 1,0098 0,1391	0,1506 1,0113 0,1489	0,1607 1,0128 0,1587	0,1708 1,0145 0,1684	0,1810 1,0162 0,1781	0,1911 1,0181 0,1878
0,2	0,2013 1,0201 0,1974	0,2115 1,0221 0,2070	0,2218 1,0243 0,2165	0,2320 1,0266 0,2260	0,2423 1,0289 0,2355	0,2526 1,0314 0,2449	0,2629 1,0340 0,2543	0,2733 1,0367 0,2636	0,2837 1,0395 0,2729	0,2941 1,0423 0,2821
0,3	0,3045 1,0453 0,2913	0,3150 1,0484 0,3004	0,3255 1,0516 0,3095	0,3360 1,0549 0,3185	0,3466 1,0584 0,3275	0,3572 1,0619 0,3364	0,3678 1,0655 0,3452	0,3785 1,0692 0,3540	0,3892 1,0731 0,3627	0,4000 1,0770 0,3714
0,4	0,4108 1,0811 0,3800	0,4216 1,0852 0,3885	0,4325 1,0895 0,3969	0,4434 1,0939 0,4053	0,4543 1,0984 0,4136	0,4653 1,1030 0,4219	0,4764 1,1077 0,4301	0,4875 1,1125 0,4382	0,4986 1,1174 0,4462	0,5098 1,1225 0,4542
0,5	0,5211 1,1276 0,4621	0,5324 1,1329 0,4700	0,5438 1,1383 0,4777	0,5552 1,1438 0,4854	0,5666 1,1494 0,4930	0,5782 1,1551 0,5005	0,5897 1,1609 0,5080	0,6014 1,1669 0,5154	0,6131 1,1730 0,5227	0,6248 1,1792 0,5299
0,6	0,6367 1,1855 0,5370	0,6485 1,1919 0,5441	0,6605 1,1984 0,5511	0,6725 1,2051 0,5581	0,6846 1,2119 0,5649	0,6967 1,2188 0,5717	0,7090 1,2258 0,5784	0,7213 1,2330 0,5850	0,7336 1,2402 0,5915	0,7461 1,2476 0,5980
0,7	0,7586 1,2552 0,6044	0,7712 1,2628 0,6107	0,7838 1,2706 0,6169	0,7966 1,2785 0,6231	0,8094 1,2865 0,6292	0,8223 1,2947 0,6352	0,8353 1,3030 0,6411	0,8484 1,3114 0,6469	0,8615 1,3199 0,6527	0,8748 1,3286 0,6584
0,8	0,8881 1,3374 0,6640	0,9015 1,3464 0,6696	0,9150 1,3555 0,6751	0,9286 1,3647 0,6805	0,9423 1,3740 0,6858	0,9561 1,3835 0,6911	0,9700 1,3932 0,6963	0,9840 1,4029 0,7014	0,9981 1,4128 0,7064	1,0122 1,4229 0,7114
0,9	1,0265 1,4331 0,7163	1,0409 1,4434 0,7211	1,0554 1,4539 0,7259	1,0700 1,4645 0,7306	1,0847 1,4753 0,7352	1,0995 1,4862 0,7398	1,1144 1,4973 0,7443	1,1294 1,5085 0,7487	1,1446 1,5199 0,7531	1,1598 1,5314 0,7574
1,0	1,1752 1,5431 0,7616	1,1907 1,5549 0,7658	1,2063 1,5669 0,7699	1,2220 1,5790 0,7739	1,2379 1,5913 0,7779	1,2539 1,6038 0,7818	1,2700 1,6164 0,7857	1,2862 1,6292 0,7895	1,3025 1,6421 0,7932	1,3190 1,6552 0,7969

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1,1	1 3356 1 6685 0 8005	1 3524 1 6820 0 8041	1 3693 1 6956 0 8076	1 3863 1 7093 0 8110	1 4035 1 7233 0 8144	1 4208 1 7374 0 8178	1 4382 1 7517 0 8210	1 4558 1 7662 0 8243	1 4735 1 7808 0 8275	1 4914 1 7956 0 8300
1,2	1 5095 0 8107 0 8337	1 5276 1 8258 0 8367	1 4560 1 8412 0 8397	1 5645 1 8568 0 8426	1 5831 1 8725 0 8455	1 6019 1 8884 0 8483	1 6209 1 9045 0 8511	1 6400 1 9208 0 8538	1 6593 1 9373 0 8565	1 6788 1 9540 0 8591
1,3	1 6934 1 9709 0 8617	1 7182 1 9880 0 8643	1 7381 2 0053 0 8668	1 7583 2 0028 0 8693	1 7786 2 0404 0 8717	1 7991 2 0583 0 8741	1 8198 2 0764 0 8764	1 8406 2 0917 0 8787	1 8617 2 1132 0 8810	1 8829 2 1320 0 8832
1,4	1 9043 2 1509 0 8854	1 9259 2 1700 0 8875	1 9177 2 1894 0 8896	1 9697 2 2090 0 8917	1 9919 2 2288 0 8937	2 0143 2 2488 0 8957	2 0369 2 2691 0 8977	2 0597 2 2896 0 8996	2 0827 2 3103 0 9015	2 1059 2 3312 0 9033
1,5	2 1293 2 3524 0 9052	2 1529 2 3738 0 9069	2 1768 2 3955 0 9087	2 2008 2 4174 0 9104	2 2251 2 4395 0 9121	2 2496 2 4619 0 9138	2 2743 2 4845 0 9154	2 2993 2 5074 0 9170	2 3245 2 5305 0 9186	2 3499 2 5538 0 9202
1,6	2 3756 2 5775 0 9217	2 4015 2 6013 0 9232	2 4276 2 6255 0 9246	2 4540 2 6499 0 9261	2 4806 2 6746 0 9275	2 5075 2 6995 0 9289	2 5316 2 7247 0 9302	2 5620 2 7502 0 9316	2 5896 2 7760 0 9329	2 6175 2 8020 0 9342
1,7	2 6456 2 8283 0 9354	2 6740 2 8549 0 9367	2 7027 2 8818 0 9379	2 7317 2 9090 0 9391	2 7609 2 9364 0 9402	2 7904 2 9642 0 9414	2 8202 2 9922 0 9425	2 8503 3 0206 0 9436	2 8806 3 0493 0 9447	2 9112 3 0782 0 9458
1,8	2 9422 3 1075 0 9468	2 9734 3 1371 0 9478	3 0049 3 1669 0 9488	3 0367 3 1972 0 9498	3 0689 3 2277 0 9508	3 1013 3 2585 0 9518	3 1340 3 2897 0 9527	3 1671 3 3212 0 9536	3 2005 3 3530 0 9545	3 2341 3 3852 0 9554
1,9	3 2682 3 4177 0 9562	3 3025 3 4506 0 9571	3 3372 3 4838 0 9579	3 3722 3 5173 0 9587	3 4075 3 5512 0 9595	3 4432 3 5855 0 9603	3 4792 3 6201 0 9611	3 5156 3 6551 0 9619	3 5523 3 6904 0 9626	3 5894 3 7261 0 9633
2,0	3 6269 3 7622 0 9640	3 6647 3 7937 0 9647	3 7028 3 8355 0 9654	3 7414 3 8727 0 9661	3 7803 3 9103 0 9668	3 8196 3 9483 0 9674	3 8593 3 9867 0 9680	3 8993 4 0255 0 9686	3 9398 4 0647 0 9693	3 9806 4 1043 0 9699
2,1	4 0219 4 1443 0 9705	4 0635 4 1847 0 9710	4 1056 4 2256 0 9716	4 1480 4 2658 0 9722	4 1909 4 3057 0 9727	4 2342 4 3507 0 9732	4 2779 4 3932 0 9738	4 3221 4 4362 0 9743	4 3666 4 4797 0 9748	4 4117 4 5226 0 9752
2,2	4 4571 4 5679 0 9757	4 5030 4 6127 0 9762	4 5494 4 6580 0 9771	4 5962 4 7037 0 9771	4 6434 4 7499 0 9776	4 6912 4 7966 0 9780	4 7394 4 8437 0 9785	4 7880 4 8914 0 9789	4 8372 4 9395 0 9793	4 8868 4 9881 0 9797

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2,3	4,9370 5,0172 0,9801	4,9876 5,0868 0,9805	5,0387 5,1370 0,9809	5,0903 5,1876 0,9812	5,1425 5,2388 0,9816	5,1951 5,2905 0,9820	5,2483 5,3427 0,9823	5,3020 5,3954 0,9827	5,3562 5,4487 0,9830	5,4109 5,5026 0,9834
2,4	5,4662 5,5569 0,9837	5,5221 5,6119 0,9840	5,5785 5,6674 0,9843	5,6354 5,7235 0,9846	5,6929 5,7801 0,9849	5,7510 5,8373 0,9852	5,8097 5,8951 0,9855	5,8689 5,9535 0,9858	5,9288 6,0125 0,9861	5,9892 6,0721 0,9864
2,5	6,0502 6,1323 0,9866	6,1118 6,1911 0,9869	6,1741 6,2545 0,9871	6,2369 6,3166 0,9874	6,3004 6,3793 0,9876	6,3645 6,4426 0,9879	6,4293 6,5066 0,9881	6,4946 6,5712 0,9884	6,5607 6,6365 0,9886	6,6274 6,7024 0,9888
2,6	6,6947 6,7691 0,9890	6,7628 6,8363 0,9892	6,8315 6,9043 0,9895	6,9009 6,9729 0,9897	6,9709 7,0423 0,9899	7,0417 7,1123 0,9801	7,1132 7,1831 0,9903	7,1854 7,2546 0,9905	7,2583 7,3268 0,9906	7,3319 7,3998 0,9908
2,7	7,4063 7,4735 0,9910	7,4814 7,5479 0,9912	7,5572 7,6231 0,9914	7,6338 7,6991 0,9915	7,7112 7,7758 0,9917	7,7894 7,8533 0,9919	7,8683 7,9316 0,9920	7,9480 8,0106 0,9922	8,0285 8,0905 0,9923	8,1098 8,1712 0,9925
2,8	8,1919 8,2527 0,9926	8,2749 8,3351 0,9928	8,3586 8,4182 0,9929	8,4432 8,5022 0,9931	8,5287 8,5871 0,9932	8,6150 8,6728 0,9933	8,7021 8,7594 0,9935	8,7902 8,8469 0,9936	8,8791 8,9352 0,9937	8,9689 9,0244 0,9938
2,9	9,0596 9,1146 0,9940	9,1512 9,2056 0,9941	9,2437 9,2976 0,9942	9,3371 9,3905 0,9953	9,4315 9,4844 0,9944	9,5268 9,5792 0,9945	9,6231 9,6749 0,9946	9,7203 9,7716 0,9948	9,8185 9,8693 0,9949	9,9177 9,9680 0,9950
3,0	10,018 10,068 0,9951	10,119 10,168 0,9952	10,221 10,270 0,9953	10,324 10,373 0,9953	10,429 10,476 0,9954	10,534 10,581 0,9955	10,640 10,687 0,9956	10,748 10,794 0,9957	10,856 10,902 0,9958	10,966 11,011 0,9959
3,1	11,076 11,121 0,9960	11,188 11,233 0,9960	11,301 11,345 0,9961	11,415 11,459 0,9962	11,530 11,574 0,9963	11,647 11,689 0,9963	11,764 11,806 0,9964	11,883 11,925 0,9965	12,003 12,044 0,9966	12,124 12,165 0,9966
3,2	12,246 12,287 0,9967	12,369 12,410 0,9968	12,494 12,534 0,9968	12,620 12,660 0,9969	12,747 12,786 0,9969	12,876 12,915 0,9970	13,006 13,044 0,9971	13,137 13,175 0,9971	13,269 13,307 0,9972	13,403 13,440 0,9972
3,3	13,538 13,575 0,9973	13,674 13,711 0,9973	13,812 13,848 0,9974	13,951 13,987 0,9974	14,092 14,127 0,9975	14,234 14,269 0,9975	14,377 14,412 0,9976	14,522 14,556 0,9976	14,668 14,702 0,9977	14,816 14,850 0,9977
3,4	14,965 14,999 0,9978	15,116 15,149 0,9978	15,268 15,301 0,9979	15,422 15,455 0,9979	15,577 15,610 0,9979	15,734 15,766 0,9980	15,893 15,924 0,9980	16,053 16,084 0,9981	16,215 16,245 0,9981	16,378 16,408 0,9981

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
3,5	16,543 16,573 0,9982	16,709 16,739 0,9982	16,877 16,907 0,9983	17,047 17,077 0,9983	17,219 17,248 0,9983	17,392 17,421 0,9984	17,567 17,596 0,9984	17,744 17,772 0,9984	17,923 17,951 0,9985	18,103 18,131 0,9985
3,6	18,285 18,313 0,9985	18,470 18,497 0,9985	18,655 18,682 0,9986	18,843 18,870 0,9986	19,033 19,059 0,9986	19,224 19,250 0,987	19,418 19,444 0,9987	19,613 19,639 0,9987	19,811 19,836 0,9987	20,010 20,035 0,9988
3,7	20,211 20,236 0,9988	20,415 20,439 0,9988	20,620 20,644 0,9988	20,820 20,852 0,9989	21,037 21,061 0,9989	21,249 21,272 0,9989	21,463 21,486 0,9989	21,679 21,702 0,9989	21,897 21,919 0,9990	22,117 22,139 0,9990
3,8	22,339 22,362 0,9990	22,564 22,586 0,9990	22,791 22,813 0,9990	23,020 23,042 0,9991	23,252 23,273 0,9991	23,486 23,507 0,9991	23,722 23,743 0,9991	23,961 23,982 0,9991	24,202 24,222 0,9992	24,445 24,466 0,9992
3,9	24,691 24,711 0,9992	24,939 24,959 0,9992	25,190 25,210 0,9992	25,444 25,463 0,9992	25,700 25,719 0,9992	25,958 25,977 0,9993	26,219 26,238 0,9993	26,483 26,502 0,9993	26,749 26,768 0,9993	27,018 27,037 0,9993
4,0	27,290 27,308 0,9993	27,564 27,583 0,9993	27,842 27,860 0,9994	28,122 28,139 0,9994	28,404 28,422 0,9994	28,690 28,707 0,9994	28,979 28,996 0,9994	29,270 29,287 0,9994	29,564 29,581 0,9994	29,862 29,878 0,9994
4,1	30,162 30,178 0,9995	30,465 30,482 0,9995	30,772 30,788 0,9995	31,081 31,097 0,9995	31,393 31,409 0,9995	31,709 31,725 0,9995	32,028 32,044 0,9995	32,350 32,365 0,9995	32,675 32,691 0,9995	33,004 33,019 0,9995
4,2	33,336 33,351 0,9996	33,671 33,686 0,9996	34,009 34,024 0,9996	34,351 34,366 0,9996	34,697 34,711 0,9996	35,046 35,060 0,9996	35,398 35,412 0,9996	35,754 35,768 0,9996	36,113 36,127 0,9996	36,476 36,490 0,9996
4,3	36,843 36,857 0,9996	37,214 37,227 0,9996	37,588 37,601 0,9997	37,965 37,979 0,9997	38,347 38,360 0,9997	38,733 38,746 0,9997	39,122 39,135 0,9997	39,515 39,528 0,9997	39,913 39,925 0,9997	40,326 40,314 0,9997
4,4	40,719 40,732 0,9997	41,129 41,141 0,9997	41,542 41,554 0,9997	41,960 41,972 0,9997	42,382 42,393 0,9997	42,808 42,819 0,9997	43,238 43,250 0,9997	43,673 43,684 0,9997	44,112 44,123 0,9997	44,555 45,566 0,9998
4,5	45,003 45,014 0,9998	45,455 45,466 0,9998	45,912 45,923 0,9998	46,374 46,385 0,9998	46,840 46,851 0,9998	47,311 47,321 0,9998	47,787 47,797 0,9998	48,267 48,277 0,9998	48,752 48,762 0,9998	49,242 49,252 0,9998
4,6	49,737 49,747 0,9998	50,237 50,247 0,9998	50,742 50,752 0,9998	51,252 51,262 0,9998	51,767 51,777 0,9998	52,288 52,297 0,9998	52,813 52,823 0,9998	53,344 53,354 0,9998	53,880 53,890 0,9998	54,422 54,431 0,9998

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
4,7	54,969 54,978 0,9998	55,522 55,531 0,9998	56,080 56,089 0,9998	56,643 56,652 0,9998	57,213 57,221 0,9999	57,778 57,796 0,9999	58,369 58,377 0,9999	58,955 58,964 0,9999	59,548 59,556 0,9999	60,147 60,155 0,9999
4,8	60,751 60,759 0,9999	61,362 61,370 0,9999	61,979 61,987 0,9999	62,601 62,609 0,9999	63,231 63,239 0,9999	63,866 63,874 0,9999	64,508 64,516 0,9999	65,157 65,164 0,9999	65,812 65,819 0,999	66,473 66,481 0,9999
4,9	67,141 67,149 0,9999	67,816 67,823 0,9999	68,498 68,505 0,9999	69,186 69,193 0,9999	69,882 69,889 0,9999	70,584 70,591 0,9999	71,993 71,300 0,9999	72,010 72,017 0,9999	72,734 72,741 0,9999	73,465 73,472 0,9999
5,0	74,203 74,210 0,9999	74,949 74,956 0,9999	75,702 75,709 0,9999	76,463 76,470 0,9999	77,232 77,238 0,9999	78,008 78,014 0,9999	78,792 78,798 0,9999	79,584 79,590 0,9999	80,384 80,390 0,9999	81,192 81,198 0,9999
5,1	82,008 82,014 0,9999	82,832 82,838 0,9999	83,665 83,671 0,9999	84,506 84,512 0,9999	85,355 85,361 0,9999	86,213 86,219 0,9999	87,079 87,085 0,9999	87,955 87,960 0,9999	88,839 88,844 0,9999	89,732 89,737 0,9999
5,2	90,633 90,639 0,9999	91,544 91,550 0,9999	92,464 92,470 0,9999	93,394 93,399 0,9999	94,332 94,338 0,9999	95,281 95,286 0,9999	96,238 96,243 1,0000	97,205 97,211 1,0000	98,182 98,188 1,0000	99,169 99,174 1,0000
5,3	100,17 100,17 1,0000	101,17 101,18 1,0000	102,19 102,19 1,0000	103,22 103,22 1,0000	104,25 104,26 1,0000	105,30 105,31 1,0000	106,36 106,67 1,0000	107,43 107,43 1,0000	108,51 108,51 1,0000	109,60 109,60 1,0000
5,4	110,70 110,71 1,0000	111,81 111,82 1,0000	112,94 112,94 1,0000	114,07 114,08 1,0000	115,22 115,22 1,0000	116,38 116,38 1,0000	117,55 117,55 1,0000	118,73 118,73 1,0000	119,92 119,93 1,0000	121,13 121,13 1,0000
5,5	122,34 122,35 1,0000	123,57 123,58 1,0000	124,82 124,82 1,0000	126,07 126,07 1,0000	127,34 127,34 1,0000	128,62 128,62 1,0000	129,91 129,91 1,0000	131,22 131,22 1,0000	132,53 132,54 1,0000	133,87 133,87 1,0000
5,6	135,21 135,22 1,0000	136,57 136,57 1,0000	137,94 137,95 1,0000	139,33 139,33 1,0000	140,73 140,73 1,0000	142,14 142,15 1,0000	143,57 143,58 1,0000	145,02 145,02 1,0000	146,47 146,48 1,0000	147,95 147,95 1,0000
5,7	149,43 149,44 1,0000	150,93 150,94 1,0000	152,45 152,45 1,0000	153,98 153,99 1,0000	155,53 155,53 1,0000	157,09 157,10 1,0000	158,67 158,68 1,0000	160,27 160,27 1,0000	161,88 161,88 1,0009	163,51 163,51 1,0000
5,8	165,15 165,15 1,0000	166,81 166,81 1,0000	168,48 168,49 1,0000	170,18 170,18 1,0000	171,89 171,89 1,0000	173,62 173,62 1,0000	175,36 175,36 1,0000	177,12 177,13 1,0000	178,90 178,91 1,0000	180,70 180,70 1,0000

Мантиссы десятичных логарифмов

И	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	0000	0004	0009	0013	0017	0022	0026	0030	0035	0039
101	0143	0048	0052	0056	0060	0065	0069	0073	0077	0082
102	0086	0090	0095	0099	0103	0107	0111	0116	0120	0124
103	0128	0133	0137	0141	0145	0149	0154	0158	0162	0166
104	0170	0175	0179	0183	0187	0191	0195	0199	0204	0208
105	0212	0216	0220	0224	0228	0233	0237	0241	0245	0249
106	0253	0257	0261	0265	0269	0273	0278	0282	0286	0290
107	0294	0298	0302	0306	0310	0314	0318	0322	0326	0330
108	0334	0338	0342	0346	0350	0354	0358	0362	0366	0370
109	0374	0378	0382	0386	0390	0394	0398	0402	0406	0410
110	0414	0418	0422	0426	0430	0434	0438	0441	0445	0449
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0838	0884	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551

И	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6 37	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7537	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7 45	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	78 9	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	78 6	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7 59	7966	7673	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	80 21	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8 287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8 357	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802

И	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9999
100	0000	0004	0009	0013	0017	0022	0026	0030	0035	0039
101	0043	0048	0052	0056	0060	0065	0069	0073	0077	0082
102	0086	0090	0095	0099	0103	0107	0111	0116	0120	0124
103	0128	0133	0137	0141	0145	0149	0154	0158	0162	0165
104	0170	0175	0179	0183	0187	0191	0195	0199	0204	0208
105	0212	0216	0220	0224	0228	0233	0237	0241	0245	0249
106	0253	0257	0261	0265	0269	0273	0278	0282	0286	0290
107	0294	0298	0302	0306	0310	0314	0318	0322	0326	0330
108	0334	0338	0342	0346	0350	0354	0358	0362	0366	0370
109	0374	0378	0382	0386	0390	0394	0398	0402	0406	0410
110	0414	0418	0422	0426	0430	0434	0438	0441	0445	0449

Натуральные логарифмы

Таблица 2.15

И	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—∞	0,0000	0,6931	1,0986	1,3863	1,6094	1,7918	1,9459	2,0794	2,1972
10	2,3026	2,3979	2,4849	2,5649	2,6391	2,7081	2,7726	2,8332	2,8904	2,9444
20	2,9957	3,0445	3,0910	3,1355	3,1781	3,2189	3,2581	3,2958	3,3322	3,3673
30	3,4012	3,4340	3,4657	3,4965	3,5264	3,5553	3,5835	3,6109	3,6376	3,6636
40	3,6889	3,7136	3,7377	3,7612	3,7842	3,8067	3,8286	3,8501	3,8712	3,8918
50	3,9120	3,9318	3,9512	3,9703	3,9890	4,0073	4,0254	4,0431	4,0604	4,0775
60	4,0943	4,1109	4,1271	4,1431	4,1589	4,1744	4,1897	4,2047	4,2195	4,2341
70	4,2485	4,2627	4,2767	4,2905	4,3041	4,3175	4,3307	4,3438	4,3567	4,3694
80	4,3820	4,3944	4,4067	4,4188	4,4308	4,4427	4,4543	4,4659	4,4773	4,4886
90	4,4998	4,5109	4,5218	4,5326	4,5433	4,5539	4,5643	4,5747	4,5850	4,5951
100	4,6052	4,6151	4,6250	4,6347	4,6444	4,6540	4,6634	4,6728	4,6821	4,6913
110	4,7005	4,7095	4,7185	4,7274	4,7362	4,7449	4,7535	4,7622	4,7704	4,7791
120	4,7875	4,7958	4,8040	4,8122	4,8203	4,8283	4,8363	4,8442	4,8520	4,8597
130	4,8675	4,8752	4,8828	4,8903	4,8978	4,9053	4,9127	4,9200	4,9273	4,9345
140	4,9416	4,9488	4,9558	4,9628	4,9698	4,9767	4,9836	4,9904	4,9972	5,0039
150	5,0106	5,0173	5,0239	5,0304	5,0370	5,0434	5,0499	5,0562	5,0626	5,0689
160	5,0752	5,0814	5,0876	5,0938	5,0999	5,1059	5,1120	5,1180	5,1240	5,1299
170	5,1358	5,1417	5,1475	5,1533	5,1591	5,1648	5,1705	5,1761	5,1818	5,1874
180	5,1930	5,1985	5,2040	5,2095	5,2149	5,2201	5,2257	5,2311	5,2364	5,2417
190	5,2470	5,2523	5,2575	5,2627	5,2679	5,2730	5,2781	5,2832	5,2883	5,2933
200	5,2983	5,3033	5,3083	5,3132	5,3181	5,3230	5,3279	5,3327	5,3375	5,3423
210	5,3471	5,3519	5,3566	5,3613	5,3660	5,3706	5,3753	5,3799	5,3845	5,3891
220	5,3936	5,3982	5,4027	5,4072	5,4116	5,4164	5,4205	5,4250	5,4293	5,4337
230	5,4381	5,4424	5,4467	5,4510	5,4553	5,4596	5,4638	5,4681	5,4723	5,4765
240	5,4806	5,4848	5,4889	5,4931	5,4972	5,5013	5,5053	5,5094	5,5134	5,5175
250	5,5215	5,5255	5,5294	5,5334	5,5378	5,5413	5,5452	5,5491	5,5530	5,5568
260	5,5607	5,5645	5,5683	5,5722	5,5759	5,5797	5,5835	5,5872	5,5910	5,5947
270	5,5984	5,6021	5,6058	5,6095	5,6131	5,6168	5,6204	5,6240	5,6276	5,6312
280	5,6348	5,6384	5,6419	5,6454	5,6490	5,6525	5,6560	5,6595	5,6630	5,6664
290	5,6699	5,6733	5,6768	5,6802	5,6836	5,6870	5,6904	5,6937	5,6971	5,7004
300	5,7038	5,7071	5,7104	5,7137	5,7170	5,7203	5,7236	5,7268	5,7301	5,7333
310	5,7366	5,7398	5,7430	5,7462	5,7494	5,7526	5,7557	5,7589	5,7621	5,7652
320	5,7683	5,7714	5,7746	5,7777	5,7807	5,7838	5,7869	5,7900	5,7930	5,7961
330	5,7991	5,8021	5,8051	5,8081	5,8111	5,8141	5,8171	5,8201	5,8230	5,8260

И	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
340	5,8289	5,8319	5,8348	5,8377	5,8406	5,8435	5,8464	5,8493	5,852	5,8551
350	5,8579	5,8608	5,8636	5,8665	5,8693	5,8721	5,8749	5,8777	5,8805	5,8833
360	5,8861	5,8889	5,8916	5,8944	5,8972	5,8999	5,9026	5,9054	5,9081	5,9108
370	5,9135	5,9162	5,9189	5,9216	5,9243	5,9269	5,9296	5,9322	5,9349	5,9375
380	5,9402	5,9428	5,9454	5,9480	5,9506	5,9532	5,9558	5,9581	5,9610	5,9636
390	5,9661	5,9687	5,9713	5,9738	5,9764	5,9789	5,9814	5,9839	5,9865	5,9890
400	5,9915	5,9940	5,9965	5,9989	6,0014	6,0039	6,0064	6,0088	6,0113	6,0137
410	6,0162	6,0186	6,0210	6,0234	6,0259	6,0283	6,0307	6,0331	6,0355	6,0379
420	6,0403	6,0426	6,0450	6,0474	6,0497	6,0521	6,0544	6,0568	6,0591	6,0615
430	6,0638	6,0661	6,0684	6,0707	6,0730	6,0753	6,0776	6,0799	6,0822	6,0845
440	6,0868	6,0890	6,0913	6,0936	6,0958	6,0981	6,1003	6,1026	6,1048	6,1070
450	6,1092	6,1115	6,1137	6,1159	6,1181	6,1203	6,1225	6,1247	6,1269	6,1291
460	6,1312	6,1334	6,1356	6,1377	6,1399	6,1420	6,1442	6,1463	6,1485	6,1506
470	6,1527	6,1549	6,1570	6,1591	6,1612	6,1633	6,1654	6,1675	6,1696	6,1717
480	6,1738	6,1759	6,1779	6,1800	6,1821	6,1841	6,1862	6,1883	6,1903	6,1924
490	6,1944	6,1964	6,1985	6,2005	6,2025	6,2046	6,2066	6,2086	6,2106	6,2120
500	6,2146	6,2166	6,2186	6,2206	6,2226	6,2246	6,2265	6,2285	6,2305	6,2324
510	6,2344	6,2364	6,2383	6,2403	6,2422	6,2442	6,2461	6,2480	6,2500	6,2519
520	6,2538	6,2558	6,2577	6,2596	6,2615	6,2634	6,2653	6,2672	6,2691	6,2710
530	6,2729	6,2748	6,2766	6,2785	6,2804	6,2823	6,2841	6,2860	6,2879	6,2897
540	6,2916	6,2934	6,2953	6,2971	6,2989	6,3008	6,3026	6,3044	6,3063	6,3081
550	6,3099	6,3117	6,3135	6,3154	6,3172	6,3190	6,3208	6,3226	6,3244	6,3261
560	6,3279	6,3297	6,3315	6,3333	6,3350	6,3368	6,3386	6,3404	6,3421	6,3439
570	6,3456	6,3474	6,3491	6,3509	6,3526	6,3544	6,3561	6,3578	6,3596	6,3613
580	6,3630	6,3648	6,3665	6,3682	6,3699	6,3716	6,3733	6,3750	6,3767	6,3784
590	6,3801	6,3818	6,3835	6,3852	6,3869	6,3886	6,3902	6,3919	6,3936	6,3953
600	6,3969	6,3986	6,4003	6,4019	6,4036	6,4052	6,4069	6,4085	6,4102	6,4118
610	6,4135	6,4151	6,4167	6,4184	6,4200	6,4216	6,4232	6,4249	6,4265	6,4281
620	6,4297	6,4313	6,4329	6,4345	6,4362	6,4378	6,4394	6,4409	6,4425	6,4441
630	6,4457	6,4473	6,4489	6,4505	6,4520	6,4536	6,4552	6,4568	6,4583	6,4599
640	6,4615	6,4630	6,4646	6,4661	6,4677	6,4693	6,4708	6,4723	6,4739	6,4754
650	6,4770	6,4785	6,4800	6,4816	6,4831	6,4846	6,4862	6,4877	6,4892	6,4907
660	6,4922	6,4938	6,4953	6,4968	6,4983	6,4998	6,5013	6,5028	6,5043	6,5058
670	6,5073	6,5088	6,5103	6,5117	6,5132	6,5147	6,5162	6,5177	6,5191	6,5206
680	6,5221	6,5236	6,5250	6,5265	6,5280	6,5294	6,5309	6,5323	6,5338	6,5352
690	6,5367	6,5381	6,5396	6,5410	6,5425	6,5439	6,5453	6,5468	6,5482	6,5497

И	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
700	6,5511	6,5525	6,5539	6,5554	6,5568	6,5582	6,5596	6,5610	6,5624	6,5639
710	6,5653	6,5667	6,5681	6,5695	6,5709	6,5723	6,5737	6,5751	6,5765	6,5779
720	6,5793	6,5806	6,5820	6,5834	6,5848	6,5862	6,5876	6,5889	6,5903	6,5917
730	6,5930	6,5944	6,5958	6,5971	6,5985	6,5999	6,6012	6,6026	6,6039	6,6053
740	6,6067	6,6080	6,6093	6,6107	6,6120	6,6134	6,6147	6,6161	6,6174	6,6187
750	6,6201	6,6214	6,6227	6,6241	6,6254	6,6267	6,6280	6,6294	6,6307	6,6320
760	6,6333	6,6346	6,6359	6,6373	6,6386	6,6399	6,6412	6,6425	6,6438	6,6451
770	6,6464	6,6477	6,6490	6,6503	6,6516	6,6529	6,6542	6,6554	6,6567	6,6580
780	6,6593	6,6606	6,6619	6,6631	6,6644	6,6657	6,6670	6,6682	6,6695	6,6708
790	6,6720	6,6733	6,6746	6,6758	6,6771	6,6783	6,6796	6,6809	6,6821	6,6834
800	6,6846	6,6859	6,6871	6,6884	6,6896	6,6908	6,6921	6,6933	6,6946	6,6958
810	6,6973	6,6983	6,6995	6,7007	6,7020	6,7032	6,7044	6,7056	6,7069	6,7081
820	6,7093	6,7105	6,7117	6,7130	6,7142	6,7154	6,7166	6,7178	6,7190	6,7202
830	6,7214	6,7226	6,7238	6,7250	6,7262	6,7274	6,7286	6,7298	6,7310	6,7322
840	6,7334	6,7346	6,7358	6,7370	6,7382	6,7393	6,7405	6,7417	6,7429	6,7441
850	6,7452	6,7464	6,7476	6,7488	6,7499	6,7511	6,7523	6,7534	6,7546	6,7558
860	6,7569	6,7581	6,7593	6,7604	6,7616	6,7627	6,7639	6,7650	6,7662	6,7673
870	6,7685	6,7696	6,7708	6,7719	6,7731	6,7742	6,7754	6,7765	6,7776	6,7788
880	6,7799	6,7811	6,7822	6,7833	6,7845	6,7856	6,7867	6,7878	6,7890	6,7901
890	6,7912	6,7923	6,7935	6,7946	6,7957	6,7968	6,7979	6,7991	6,8002	6,8013
900	6,8024	6,8035	6,8046	6,8057	6,8068	6,8079	6,8090	6,8101	6,8112	6,8123
910	6,8134	6,8145	6,8159	6,8167	6,8178	6,8189	6,8200	6,8211	6,8222	6,8233
920	6,8244	6,8255	6,8265	6,8276	6,8287	6,8298	6,8309	6,8320	6,8330	6,8341
930	6,8352	6,8363	6,8373	6,8384	6,8395	6,8405	6,8416	6,8427	6,8437	6,8448
940	6,8459	6,8469	6,8480	6,8491	6,8501	6,8512	6,8522	6,8533	6,8544	6,8554
950	6,8565	6,8575	6,8585	6,8596	6,8607	6,8617	6,8628	6,8638	6,8648	6,8659
960	6,8669	6,8680	6,8690	6,8701	6,8711	6,8721	6,8732	6,8742	6,8752	6,8763
970	6,8773	6,8783	6,8794	6,8804	6,8814	6,8824	6,8835	6,8845	6,8855	6,8865
980	6,8876	6,8886	6,8896	6,8906	6,8916	6,8926	6,8937	6,8947	6,8957	6,8967
990	6,8977	6,8987	6,8997	6,9007	6,9017	6,9027	6,9037	6,9047	6,9057	6,9068

РАСЧЕТ ГАРМОНИК ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

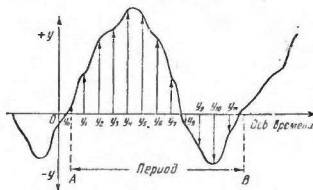
Если периодическая функция задана кривой (положим, записью на осциллограмме), то значения составляющих эту кривую синусовид (до 6-й гармоники включительно) могут быть рассчитаны следующим методом.

На кривой отмечается (рис. 2. 3) один полный период (выбор начальной точки периода произволен, на рис. 2. 3 период выбран между точками А и В), который и делится по оси времени на 12 равных частей. С помощью линейки с произвольными (но равными) делениями измеряются величины всех ординат между осью времени и кривой. Получается 12 ординат, величины которых в порядке расположения (рис. 2. 3) равны:

$$Y_0 \ Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4 \ Y_5 \ Y_6 \ Y_7 \ Y_8 \ Y_9 \ Y_{10} \ Y_{11}.$$

С этими длинами ординат производятся следующие арифметические выкладки. Ординаты располагаются, как указано ниже, в два ряда, между которыми и производятся сложения и вычитания:

	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
	Y_{11}	Y_{10}	Y_9	Y_8	Y_7		
Суммы . .	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Разности . . .		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	



Фиг. 2.3

Складываем и вычитаем суммы:

	S_0	S_1	S_2	S_3
	S_6	S_5	S_4	
Суммы .	S_0	S_1	S_2	S_3
Разности .	D_0	D_1	D_2	

Складываем и вычитаем разности:

	d_1	d_2	d_3
	d_5	d_4	
Суммы .	S_1	S_5	S_0
Разности .	D_3	D_4	

Далее производим сложение:

$$\begin{array}{r} S_0 \quad S_1 \\ S_2 \quad S_3 \\ \hline \text{Суммы} \cdot S_7 \quad S_8 \end{array}$$

и вычитание:

$$\begin{array}{r} S_4 \quad D_0 \\ S_6 \quad D_2 \\ \hline \text{Разности} \cdot D_5 \quad D_6 \end{array}$$

Переходим теперь к подсчету коэффициентов уравнения заданной кривой, которая выразится через:

$$y = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + A_3 \cos 3\omega t + A_4 \cos 4\omega t + \\ + A_5 \cos 5\omega t + A_6 \cos 6\omega t + B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + \\ + B_3 \sin 3\omega t + B_4 \sin 4\omega t + B_5 \sin 5\omega t.$$

Коэффициенты при синусах и косинусах определяются следующим путем:

$$A_0 = \frac{S_7 + S_8}{12};$$

$$A_1 = \frac{D_0 + 0,866 D_1 + 0,5 D_2}{6};$$

$$A_2 = \frac{S_0 + 0,5 S_1 - 0,5 S_2 - S_3}{6};$$

$$A_3 = \frac{D_6}{6};$$

$$A_4 = \frac{S_0 - 0,5 S_1 - 0,5 S_2 + S_3}{6};$$

$$A_5 = \frac{D_0 - 0,866 D_1 + 0,5 D_2}{6};$$

$$A_6 = \frac{S_7 - S_8}{12}.$$

$$B_1 = \frac{0,5 S_4 + 0,866 S_5 + S_6}{6};$$

$$B_2 = \frac{0,866 (D_3 + D_4)}{6};$$

$$B_3 = \frac{D_5}{6};$$

$$B_4 = \frac{0,866 (D_3 - D_4)}{6};$$

$$B_5 = \frac{0,5 S_4 - 0,866 S_5 + S_6}{6}.$$

Для проверки арифметических выкладок можно пользоваться соотношениями:

$$y_0 = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6;$$

$$y_1 - y_{11} = B_1 + B_5 + \sqrt{3} (B_2 + B_4) + 2B_3.$$

Для подсчета процентного содержания в периодической кривой различных гармоник удобнее пользоваться уравнением, объединяющим синусы и косинусы одного порядка:

$$y = A_0 + \sqrt{A_1^2 + B_1^2} \sin (\omega t + \alpha_1) + \sqrt{A_2^2 + B_2^2} \sin (2\omega t + \alpha_2) + \\ + \sqrt{A_3^2 + B_3^2} \sin (3\omega t + \alpha_3) + \sqrt{A_4^2 + B_4^2} \sin (4\omega t + \alpha_4) + \\ + \sqrt{A_5^2 + B_5^2} \sin (5\omega t + \alpha_5) + A_6 \sin (6\omega t + \alpha_6).$$

В этом уравнении A_0 — постоянная составляющая заданной кривой.

A_1 — амплитуда основной синусоиды,

A_2 — амплитуда второй гармоники,

A_3 — амплитуда третьей гармоники и т. д.,

$\omega = 2\pi f$, где f — основная частота в герцах.

Фазные углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и т. д. могут быть определены из соотношений:

$\alpha_1 = \arctg \frac{A_1}{B_1}$; $\alpha_2 = \arctg \frac{A_2}{B_2}$ и т. д., но обычно фазными соотношения-

ми между гармониками не интересуются.

Процентный состав для любой гармоники (относительно основной синусоиды) выразится следующими соотношениями:

$$\text{для 2-й гармоники: } \frac{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \cdot 100 (\%);$$

$$\text{для 3-й гармоники: } \frac{\sqrt{A_3^2 + B_3^2}}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \cdot 100 (\%) \text{ и т. д.}$$

Общее содержание гармоник («клирфактор») учитывающий до 6-й гармоники включительно) выразится через

$$K_{\%} = \frac{100 \cdot \sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + A_5^2 + A_6^2 + B_2^2 + B_3^2 + B_4^2 + B_5^2 + B_6^2}}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}$$

Ввиду некоторой сложности выкладок приведем пример расчета для кривой рис. 2. 3, для которой ординаты (измеренные в миллиметрах для оригинала кривой, изображенной на рис. 2. 3 примерно в $1/4$ натуральной величины) имели следующие значения:

Номер ординаты	U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}	U_{11}
Длина ординаты в мм	5,5	37,0	68,6	76,4	93,2	89,6	66,7	34,3	-8,8	-28,4	-44,1	-15,0

Решение.	5,5	37,0	68,6	76,4	93,2	89,6	66,7
		-15,0	-44,1	-28,4	-8,8	34,3	

Суммы . .	5,5	22,0	24,5	48,0	84,4	123,9	66,7
-----------	-----	------	------	------	------	-------	------

	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Разности . .		52,0	112,7	104,8	102,0	55,3	
--------------	--	------	-------	-------	-------	------	--

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
--	-------	-------	-------	-------	-------

	5,5	22,0	24,5	48,0
--	-----	------	------	------

	66,7	123,9	84,4
--	------	-------	------

Суммы . . .	72,2	145,9	108,9	48,0
-------------	------	-------	-------	------

	S_0	S_1	S_2	S_3
--	-------	-------	-------	-------

Разности . .	-61,2	-101,9	-59,9
--------------	-------	--------	-------

	D_0	D_1	D_2
--	-------	-------	-------

	52,0	112,7	104,8		
	55,3	102,0			
Суммы.	107,3	214,7	104,8	Разности . .	— 3,3 10,7
	S_4	S_5	S_6		D_3 D_4
	72,2	145,9			107,3 — 61,2
	108,9	48,0			104,8 — 59,9
Суммы . .	181,1	193,9		Разности . .	2,5 — 1,3
	S_7	S_8			D_5 D_6

$$A_0 = \frac{181,1 + 193,9}{12} = + 31,3;$$

$$A_1 = \frac{- 61,2 + 0,866 (- 101,9) + 0,5 (- 59,9)}{6} = - 29,9;$$

$$A_2 = \frac{72,2 + 0,5 \cdot 145,9 - 0,5 \cdot 108,9 - 48}{6} = + 7,1;$$

$$A_3 = \frac{- 1,3}{6} = - 0,2;$$

$$A_4 = \frac{72,2 - 0,5 \cdot 145,9 - 0,5 \cdot 108,9 + 48}{6} = - 1,2;$$

$$A_5 = \frac{- 61,2 - 0,866 (- 101,9) + 0,5 (- 59,9)}{6} = - 0,5;$$

$$A_6 = \frac{181,1 - 193,9}{12} = - 1,1;$$

$$B_1 = \frac{0,5 \cdot 107,3 + 0,866 \cdot 214,7 + 104,8}{6} = + 57,4;$$

$$B_2 = \frac{0,866 (- 3,3 + 10,7)}{6} = + 1,1;$$

$$B_3 = \frac{2,5}{6} = + 0,4;$$

$$B_4 = \frac{0,866 (- 3,3 - 10,7)}{6} = - 2,0;$$

$$B_5 = \frac{0,5 \cdot 107,3 - 0,866 \cdot 214,7 + 104,8}{6} = - 4,6.$$

Основное уравнение кривой:

$$y = 31,3 - 29,9 \cos \omega t + 7,1 \cos 2\omega t - 0,2 \cos 3\omega t - 1,2 \cos 4\omega t - \\ - 0,5 \cos 5\omega t - 1,1 \cos 6\omega t + 57,4 \sin \omega t + 1,1 \sin 2\omega t + \\ + 0,4 \sin 3\omega t - 2,0 \sin 4\omega t - 4,6 \sin 5\omega t.$$

$$\text{2-я гармоника: } \frac{\sqrt{7,1^2 + 1,1^2}}{\sqrt{(-29,9)^2 + 57,3^2}} \cdot 100 = 11,1\%$$

$$\text{3-я гармоника: } \frac{\sqrt{0,2^2 + 0,4^2}}{64,5} \cdot 100 = 0,7\%$$

$$\text{4-я гармоника: } \frac{\sqrt{1,2^2 + 2^2}}{64,5} \cdot 100 = 3,6\%$$

$$\text{5-я гармоника: } \frac{\sqrt{0,5^2 + 4,6^2}}{64,5} \cdot 100 = 7,0\%;$$

$$\text{6-я гармоника: } \frac{\sqrt{1,1^2}}{64,5} = 1,7\%.$$

Общее содержание гармоник составит

$$k = \frac{\sqrt{7,1^2 + 0,2^2 + 1,2^2 + 0,5^2 + 1,1^2 + 1,1^2 + 0,4^2 + 2,0^2 + 4,6^2}}{64,5} = 13,8 (\%)$$

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

ЗАКОН ОМА

Основной закон электротехники для цепи постоянного тока встречается в трех формах:

1) $I = \frac{U}{R}$ — это означает, что ток в электрической цепи равен напряжению на концах этой цепи, деленному на сопротивление этой же цепи;

2) $R = \frac{U}{I}$, или, выражая формулу словами, сопротивление цепи можно определить, разделив напряжение на концах этой цепи на вызываемую при этом силу тока;

3) $U = R \cdot I$, т. е. падение напряжения (или разность потенциалов) между концами рассматриваемой цепи определяется произведением сопротивления этой цепи на силу тока в цепи.

Все эти формулы применимы как к полной цепи, в которой имеется источник электродвижущей силы, так и для отдельного участка, на котором уже создано определенное напряжение и сила тока от источников тока, действующих в отдельной части цепи. Если рассматривается участок цепи, то в расчет входят напряжение (или разность потенциалов), созданное на концах (зажимах) данного участка цепи, и сила тока в сопротивлении данного участка, уже не имеющего внутри себя собственного источника электродвижущей силы.

Если имеется неразветвленная цепь с источниками электродвижущей силы, то формула применима только в том случае, если выражение (в любой из трех приведенных выше формул) будет объединять все сопротивления данной цепи, включая и внутреннее сопротивление источников тока. Основным видом формулы в этом случае будет следующий:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R + \sum r},$$

где $\sum E$ — алгебраическая сумма электродвижущих сил источников тока,

$\sum R$ — сумма внешних сопротивлений (цепей нагрузки),

$\sum r$ — сумма внутренних сопротивлений источников тока.

Сопротивление в цепях постоянного тока предполагается обычно неизменным по величине и не зависящим от силы тока.

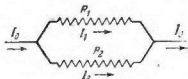
ЗАКОНЫ КИРХГОФА

Силы токов в параллельных ветвях обратно пропорциональны сопротивлениям этих ветвей. Это правило относится к любому числу параллельно включенных омических сопротивлений; обозначив одинаковыми индексами

силы токов i и сопротивления R параллельных цепей, получим следующую зависимость:

$$i_1 : i_2 : i_3 : \dots = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots$$

Для случая цепи из двух параллельных сопротивлений (см. схему рис. 3.1) силу тока в каждой отдельной цепи можно вычислять по следующим формулам:



$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_0;$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I_0.$$

Рис. 3.1. Схема параллельного соединения двух сопротивлений.

Следовательно, ток делится между R_1 и R_2 таким образом, что ток, текущий через R_1 , пропорционален R_2 , а ток, проходящий через R_2 , пропорционален R_1 . Приводимый на рис. 3.2 график дает процентное распределение токов в параллельных ветвях в зависимости от отношения их сопротивлений (сумма токов $I_1 + I_2$ принята за 100%).

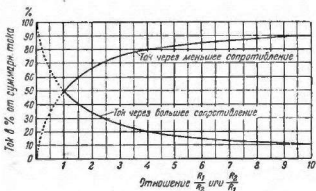


Рис. 3.2. Нагрузочные кривые для схемы параллельного соединения двух сопротивлений.

Первый закон Кирхгофа формулируется так: алгебраическая сумма токов, притекающих к одной точке, равна нулю.

Это означает, что в любой точке, являющейся местом соединения нескольких цепей, притекает ровно такое же количество электричества, какое и утекает, так как в противном случае в этой точке должно было бы происходить накопление положительного или отрицательного электричества. Таким образом при параллельных цепях, не имеющих дополнительных самостоятельных источников электричества, ток в общей цепи в точности равняется сумме отдельных токов, текущих в отдельных ветвях. Формально первый закон Кирхгофа записывается так:

$$\sum I = 0.$$

В сложных цепях отдельные ветви могут иметь еще и собственные источники электродвижущих сил. Решение этой цепи выполняется по второму закону Кирхгофа:

$$\Sigma I \cdot R = \Sigma E,$$

т. е. в замкнутом контуре алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления соответствующих участков контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил, действующих на участках этого контура.

Напряжение на зажимах источника тока равно электродвижущей силе только при отсутствии нагрузки. При нагрузке напряжение на зажимах источника уменьшается на величину падения напряжения внутри самого источника тока, в его внутреннем сопротивлении:

$$U_{\text{на зажимах}} = E - I \cdot R_{\text{внутр}}.$$

Падение напряжения может быть весьма большим. Например, 80-вольтовая анодная (сухая) батарея в свежем виде имеет сопротивление порядка

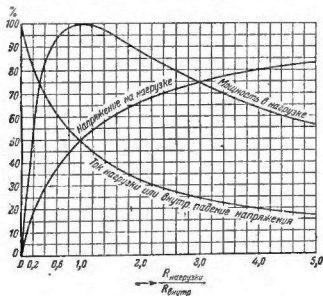


Рис. 3.3. Отдача генератора в зависимости от режима работы.

немногих десятков омов. По мере израсходования и высыхания батареек ее внутреннее сопротивление увеличивается до нескольких сотен, а иногда даже и тысяч омов. Падение напряжения внутри самой батареи в этом случае, даже при сравнительно небольшой силе тока, составляет уже весьма заметный процент от общей электродвижущей силы батареи.

Чрезвычайно полезно уяснить работу генератора, имеющего определенное внутреннее сопротивление, при изменении сопротивления нагрузочной цепи. На рис. 3.3 даны различные кривые, показывающие, как при изменении отношения

$\frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{внутр}}}$ меняется и весь режим работы источника тока.

Мощность отдачи, т. е. мощность, поглощаемая цепью нагрузки, получается максимальной при равенстве внутреннего сопротивления и сопротивления

внешней нагрузки ($\frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{внутр}}} = 1$) и при дальнейшем увеличении сопротивления нагрузки уменьшается сравнительно медленно. Чем больше отношение $\frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{внутр}}}$, тем меньшей силы ток течет по всей цепи (и через цепь нагрузки, и через внутреннее сопротивление источника тока течет одинаковой величины ток). Однако при увеличении сопротивления нагрузки, несмотря на уменьшение отдаваемой мощности ($\frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{внутр}}} > 1$), напряжение на концах нагрузки продолжает увеличиваться, стремясь в пределе к полной электродвижущей силе источника тока. Из этих кривых легко уяснить аналогичную работу усилительной лампы в качестве усилителя напряжения (отдаваемое напряжение тем больше, чем больше $\frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{внутр}}}$) и работу оконечной лампы в качестве усилителя мощности (максимальная отдача при $\frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{внутр}}} = 1$).

ЗАКОН ДЖОУЛЯ — ЛЕНЦА

Мощность электрического тока, переходящая в тепло, определяется силой тока и напряжения, вызвавшего этот ток. Мощность можно подсчитывать по одной из следующих формул:

$$P = E \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{E^2}{R}.$$

При применении практических единиц (вольт, ом, ампер) мощность при любой из этих формул получается в ваттах.

При работе источника тока, имеющего внутреннее сопротивление $R_{\text{внутр}}$, на внешнюю цепь сопротивлением $R_{\text{внешн}}$, полный баланс распределения затраченных мощностей выразится следующей формулой:

$$P = E \cdot I = I^2 \cdot R_{\text{внутр}} + I^2 R_{\text{внешн}},$$

где P — вся электрическая мощность, развиваемая источником тока,

I — сила тока, равная $\frac{E}{R_{\text{внутр}} + R_{\text{внешн}}}$ (E — электродвижущая сила источника тока).

С подсчетами допустимых напряжений, мощностей и сил токов приходится сталкиваться довольно часто, так как современный приемник или усилитель имеет большое число сопротивлений всевозможного назначения, рассчитанных на самые разнообразные напряжения и токи.

Для облегчения быстрых прикидок приводим номограмму (рис. 3. 4), дающую зависимость между I , R , E , P , и дополнительно (стр. 88) таблицу числовых значений для некоторых групп мощностей. Номограмма простейшего типа: зная только две величины из связанных взаимной зависимостью силы тока I , напряжения E , сопротивления R и мощности P , расходуемой на данном сопротивлении, находим остальные две величины лежащими на точках пересечения соответствующих шкал с линией (или

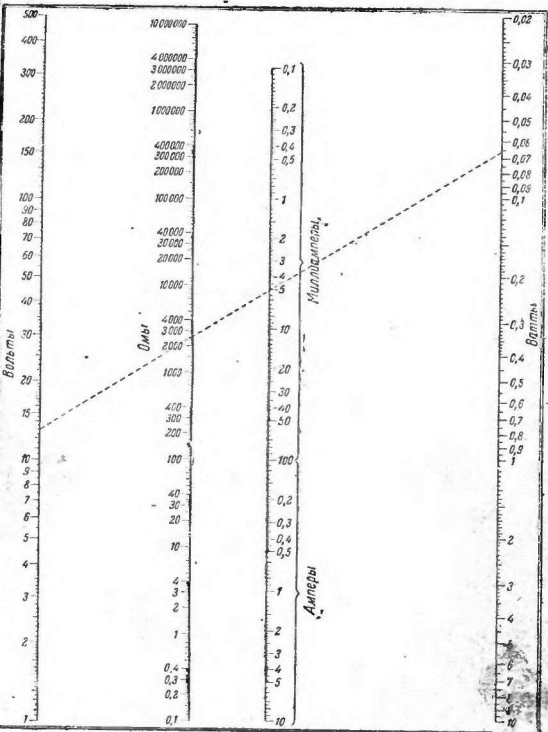


Рис. 3.4. Номограмма для определения I , R , E , P .

Соединив заданные отметки на двух любых шкалах, получим ответные значения на пересечениях соединительной линии с двумя другими шкалами.

Таблица 3.1

Допустимые нагрузки для различных типов сопротивлений

 $U_{\max}$ — в вольтах, $I_{\max}$ — в амперах

Сопротивле- ние в ом	$\frac{1}{2}$ -ваттное		1-ваттное		2-ваттное		10-ваттное	
	$U_{\max}$	$I_{\max}$	$U_{\max}$	$I_{\max}$	$U_{\max}$	$I_{\max}$	$U_{\max}$	$I_{\max}$
10	2,24	0,224	3,16	0,317	4,47	0,448	10,0	1,00
15	2,74	0,183	3,87	0,359	5,47	0,366	12,2	0,818
20	3,16	0,158	4,47	0,224	6,32	0,317	14,1	0,708
30	3,88	0,129	5,48	0,183	7,74	0,259	17,3	0,578
40	4,47	0,112	6,32	0,158	8,93	0,223	20,0	0,500
50	5,0	0,0996	7,07	0,141	9,99	0,199	22,4	0,446
75	6,12	0,0820	8,66	0,116	12,2	0,164	27,4	0,367
100	7,07	0,0707	10,0	0,100	14,1	0,141	31,6	0,316
150	8,62	0,0580	12,2	0,082	17,2	0,116	38,6	0,259
200	10,0	0,0502	14,1	0,071	19,9	0,104	44,6	0,225
300	12,2	0,0409	17,3	0,0578	24,5	0,0817	54,8	0,183
400	14,1	0,0354	20,0	0,0500	28,3	0,0707	63,2	0,158
500	15,8	0,0318	22,3	0,0449	31,5	0,0635	70,4	0,142
750	19,4	0,0258	27,4	0,0365	38,7	0,0516	86,6	0,115
1000	22,4	0,0224	31,6	0,0317	44,7	0,0448	100	0,100
1500	27,4	0,0188	38,7	0,0259	54,7	0,0259	122	0,0818
2000	31,6	0,0158	44,7	0,0224	63,2	0,0317	141	0,0708
3000	38,8	0,0129	54,8	0,0183	77,4	0,0259	173	0,0578
4000	44,7	0,0112	63,2	0,0158	89,3	0,0223	200	0,0500
5000	56,0	0,00926	70,7	0,0141	99,9	0,0199	224	0,0446
7500	61,2	0,00820	86,6	0,0116	122	0,0164	274	0,0367
10000	70,7	0,00707	100	0,0100	141	0,0141	316	0,0316
15000	86,2	0,00580	122	0,0082	172	0,0116	386	0,0259
20000	100	0,00502	141	0,0071	199	0,0104	446	0,0225
30000	122	0,00409	173	0,00578	245	0,00817	547	0,0183
40000	141	0,00354	200	0,00500	283	0,00707	632	0,0158
50000	158	0,00318	223	0,00449	315	0,00635	701	0,0142
75000	194	0,00258	274	0,00365	387	0,00516	866	0,0115
100000	224	0,00224	316	0,00317	447	0,00448	1000	0,0100
125000	250	0,00200	353	0,00283	499	0,00400	1150	0,00894
150000	274	0,00183	387	0,00259	547	0,00259	1220	0,00818
200000	316	0,00158	447	0,00224	632	0,00317	1410	0,00708
300000	388	0,00129	548	0,00183	774	0,00259	1730	0,00578
400000	447	0,00112	632	0,00158	893	0,00223	2000	0,00500
500000	500	0,000996	707	0,00141	999	0,00199	2240	0,00446
750000	612	0,000820	866	0,00116	1210	0,00164	2740	0,00367
1000000	707	0,000707	1000	0,00100	1410	0,00141	3160	0,00316
1500000	862	0,000580	1220	0,00082	1720	0,00116	3860	0,00259
2000000	1000	0,000502	1410	0,00071	1990	0,00104	4460	0,00225
3000000	1220	0,000409	1730	0,000578	2450	0,000817	5470	0,00183
5000000	1580	0,000318	2230	0,000449	3150	0,000635	7040	0,00142

с ее продолжением), соединяющей две заданные величины. На номограмме пунктиром решена задача такого типа. При анодном токе лампы в 5 ма необходимо создать минус на сетку в 13 в. Спрашивается, сколько омов должно иметь это сопротивление и можно ли для этой цепи поставить графитовое сопротивление малого типа, рассчитанного на нагрузки не более 0,25 вт. Соединяя пунктирной линией (практически просто прикладывая линейку) точку 5 ма на третьей шкале с цифрой 13 на шкале напряжений, получим отсчет примерно около 2600 ом. На шкале мощностей находим отсчет около 0,065 вт (65 м.вт). Такая мощность гарантирует вполне спокойную работу сопротивления, рассчитанного на 0,25 вт.

По дополнительно приводимой на стр. 88 таблице, дающей те же данные, но сгруппированные по величине мощности, весьма удобно и быстро решается вопрос о выборе типа сопротивления, допустимом падении напряжения и пр.

В проводнике сопротивлением R омов, по которому проходит ток I ампер, выделяется в t секунд количество тепла:

$$Q = 0,24 I^2 \cdot R \cdot t \text{ кал.}$$

На этом законе основаны работа электрических нагревательных приборов, электросварка, пайка, плавление. Ток в I ампер, проходящий по проводнику сопротивлением R омов, при разности напряжений на концах проводника E вольт производит в t секунд работу $A = E \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$ джоулей (ватт-секунд), полностью превращающихся в проводнике в тепло. Электрическая мощность, т. е. производимая в 1 сек. работа, равна при этом $P = E \cdot I = I^2 \cdot R$ вт.

1 киловатт-час = 860 000 калорий = 860 килограмм-калорий (больших калорий);

1 лошадиная сила-час = 632 000 калорий = 632 килограмм-калорий

1 калория = 0,427 килограммометра.

Приводим в табличной форме все формулы, являющиеся производными от закона Ома и от закона Джоуля — Ленца:

Таблица 3. 2

Определить	Если известно					
	I и R	P и R	P и U	I и R	P и I	I и U
I	$\frac{U}{R}$	$\sqrt{\frac{P}{R}}$	$\frac{P}{U}$	—	—	—
U	—	$\sqrt{RP}$	—	IR	$\frac{P}{I}$	—
R	—	—	$\frac{U^2}{P}$	—	$\frac{P}{I^2}$	$\frac{U}{I}$
P	$\frac{U^2}{R}$	—	—	$I^2 R$	—	IU

Все эти формулы действительны для основных электротехнических единиц:

I — сила тока в амперах,

U — напряжение в вольтах,

R — сопротивление в омах,

P — мощность в ваттах.

Формулы годны и для переменного тока, для активных нагрузок (без сдвига фаз) или для общего случая, если под R подразумевается полное сопротивление, а под мощностью — кажущееся (вольт-амперы).

ЗАКОНЫ КУЛОНА

Первый закон Кулона гласит, что сила взаимодействия между количествами электричества пропорциональна этим количествам и обратно пропорциональна расстоянию между ними:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2} \text{ (первый закон Кулона).}$$

Принимая коэффициент пропорциональности ϵ (диэлектрическая* проницаемость) для воздуха (пустоты) равным единице, расстояние между зарядами равным 1 см и силу взаимодействия (притяжения или отталкивания) тоже равной единице (1 дн), получим условие для определения величины единицы электричества.

Это будет электростатическая единица количества электричества. Для практики она оказалась слишком мала, и на основании другого закона выбрана другая единица количества в $3 \cdot 10^9$ раз большая — кулон:

1 кулон содержит $6,28 \cdot 10^{18}$ электронов,

1 электростатическая единица электричества равна $2,1 \cdot 10^9$ электронов.

Тот же закон Кулона дает возможность определения силы взаимодействия между двумя количествами магнетизма:

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2} \text{ (второй закон Кулона).}$$

Принимая для воздуха μ (магнитная проницаемость для воздуха почти не отличается от магнитной проницаемости для пустоты) равным единице, расстояние между зарядами r тоже равным единице (1 см), силу взаимодействия F равной 1 дн, получим условия для установления электромагнитной единицы количества магнетизма (при $m_1 = m_2$):

1 электромагнитная единица количества магнетизма равна $\frac{1}{3 \cdot 10^{10}}$ электростатической единицы.

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЙ

Южный полюс у катушки получается у того ее конца, глядя на который с внешней стороны, наблюдатель видит ток, идущим по часовой стрелке. Направление магнитных силовых линий обычно считается для внешнего поля от северного полюса магнита к южному.

Внутри катушки или магнита силовые линии направлены от южного конца к северному.

Правило штопора (или правило Максвелла). Если вращать штопор так, чтобы поступательное движение совпадало с направлением тока, то направление вращательного движения укажет направление силы, действующей на северный магнитный полюс.

Правило Ампера. Представим себе наблюдателя, расположенного так, что ток входит ему в ноги и выходит из головы лицом, обращенным к магниту; он увидит северный полюс перемещающимся влево.

Таблица 3.3

Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда
1	1,414	110	155,6	350	495	700	990
2	2,83	120	169,7	400	566	750	1060
3	4,24	130	183,8	450	636	800	1132
5	7,07	150	212	500	707	850	1202
80	113	200	283	550	778	900	1273
90	127,3	250	357	600	848	950	1333
100	141,4	300	424	650	919	1000	1414

Среднее значение переменного тока, представляя собой среднее арифметическое из всех промежуточных значений, за целый период равно нулю (положительные значения компенсируются отрицательными).

Можно, однако, ввести понятие о среднем значении за полупериод, которое и называется, без специальных оговорок, средним значением переменного синусоидального тока:

$$I_{\text{med}} = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,637 I_m.$$

Обратно:

$$I_m = \frac{\pi}{2} I_{\text{med}} \approx 1,57 I_{\text{med}}.$$

Форм-фактором, или коэффициентом формы кривой переменного тока, называется отношение действующего значения к среднему.

Для синусоидального тока форм-фактор:

$$\frac{I}{I_{\text{med}}} = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2I_m}{\pi}} \approx 1,11.$$

Мощность переменного тока имеет мгновенные значения, определяемые аналогично мощности постоянного тока:

$$p = e \cdot i.$$

В цепях же, в которых имеются самоиндукция и емкость, получается сдвиг фаз между током и напряжением и вследствие этого возврат в известные моменты периода энергии, запасаемой в катушках и конденсаторах.

Запас энергии в катушке, имеющей коэффициент самоиндукции L при токе I , текущем через катушку, вычисляется по формуле:

$$W_L = \frac{L \cdot I^2}{2} \text{ дж (} L \text{ — в генри, } I \text{ — в амперах)}$$

и в конденсаторе:

$$W_C = \frac{CU^2}{2} \text{ дж (} C \text{ — в фарадах, } U \text{ — в вольтах).}$$

Точки 0 и 10 имеют высоту, равную 0 (лежат на оси абсцисс). Если требуется большая точность, то расстояние, соответствующее полупериоду, делится не на 10, а на 20 одинаковых частей. Высоты, соответствующие этим делениям, следующие (начало синусоиды обозначено через 0, последняя точка пересечения полупериода с осью абсцисс будет точкой 20):

точки 0 и 20, высота равна 0 (на оси абсцисс)					% от амплитуды
»	1	»	11	»	15,6
»	2	»	18	»	30,9
»	3	»	17	»	45,4
»	4	»	16	»	58,8
»	5	»	15	»	70,7
»	6	»	14	»	80,9
»	7	»	13	»	89,1
»	8	»	12	»	95,1
»	9	»	11	»	98,8

Точка 10 (амплитуда синусоиды) — 100.

По оси абсцисс откладывается обычно время t (в секундах или в долях секунды), по оси ординат — значения тока или напряжения.

Общее аналитическое выражение синусоидального тока:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi),$$

где i — мгновенное значение тока в любой рассматриваемый момент времени;

I_m — максимальное значение, достигаемое током (амплитуда);

ω — угловая частота, равная $2f$, где f — частота в герцах; периодом называется промежуток времени T , в течение которого ток (или электродвижущая сила) претерпевает один полный цикл и следующий, затем повторяющихся; частота $f = \frac{1}{T}$ измеряется в герцах; период T измеряется в секундах;

t — время, прошедшее от начального момента;

φ — фазный угол, или начальная фаза, указывающий, в какой момент синусоиды начаты отсчеты если синусоида начата рассмотрением с нулевого значения и в сторону положительных значений, угол начальной фазы $\varphi = 0$; поэтому выражение синусоидального тока часто пишут в такой форме:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t.$$

Действующее (тепловое) значение переменного тока называется еще эффективным или среднеквадратичным. Для синусоидального тока $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$ или обратно:

$$I_m = \sqrt{2} \cdot I = 1,41.$$

В большинстве случаев обозначения силы токов и напряжений переменного тока указывают именно действующее их значение; никакого дополнительного индекса к этому обозначению не требуется. Показания тепловых приборов соответствуют действующим значениям. Провивание конденсаторов и многие явления переменного тока связаны с величиной I_m . Приводим таблицу вычисленных амплитудных значений для различных действующих напряжений (или токов):

Таблица 3.3

Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда
1	1,414	110	155,6	350	495	700	990
2	2,83	120	169,7	400	566	750	1060
3	4,24	130	183,8	450	636	800	1132
5	7,07	150	212	500	707	850	1202
80	113	200	283	550	778	930	1273
90	127,3	250	357	600	848	950	1333
100	141,4	300	424	650	919	1000	1414

Среднее значение переменного тока, представляя собой среднее арифметическое из всех промежуточных значений, за целый период равно нулю (положительные значения компенсируются отрицательными).

Можно, однако, внести понятие о среднем значении за полупериод, которое и называется, без специальных оговорок, средним значением переменного синусоидального тока:

$$I_{\text{med}} = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,637 I_m.$$

Обратно:

$$I_m = \frac{\pi}{2} I_{\text{med}} \approx 1,57 I_{\text{med}}.$$

Форм-фактором, или коэффициентом формы кривой переменного тока, называется отношение действующего значения к среднему.

Для синусоидального тока форм-фактор:

$$\frac{I}{I_{\text{med}}} = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2 I_m}{\pi}} \approx 1,11.$$

Мощность переменного тока имеет мгновенные значения, определяемые аналогично мощности постоянного тока:

$$p = e \cdot i.$$

В цепях же, в которых имеются самоиндукция и емкость, получается сдвиг фаз между током и напряжением и вследствие этого возврат в известные моменты периода энергии, запасаемой в катушках и конденсаторах.

Запас энергии в катушке, имеющей коэффициент самоиндукции L при токе I , текущем через катушку, вычисляется по формуле:

$$W_L = \frac{L \cdot I^2}{2} \text{ дж (} L \text{ — в генри, } I \text{ — в амперах)}$$

и в конденсаторе:

$$W_C = \frac{CU^2}{2} \text{ дж (} C \text{ — в фарадах, } U \text{ — в вольтах).}$$

При наличии сдвига фаз между током и напряжением в цепи переменного тока расходуемая мощность будет равна:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

где P — активная мощность в ваттах,

U — действующее напряжение в вольтах,

I — действующее значение тока в амперах,

φ — угол сдвига фаз (в градусах или радианах).

Коэффициентом мощности называется косинус угла сдвига фаз между током и напряжением. Косинус φ , помимо указанного выше соотношения, может быть еще определен как отношение активной мощности к кажущейся:

$$\cos \varphi = \frac{P}{P_i} = \frac{U \cdot I \cos \varphi}{U \cdot I}.$$

Кажущаяся мощность P_i представляет собой произведение величины напряжения на величину тока и измеряется в вольт-амперах:

$$P_i = U \cdot I = \sqrt{(U \cdot I \cos \varphi)^2 + (U \cdot I \sin \varphi)^2} = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}.$$

Здесь $P_r = UI \sin \varphi$ представляет реактивную мощность, расходуемую на создание электрических и магнитных полей. Среднее ее значение за полпериода, а следовательно, и за период, равно нулю.

Угол сдвига фаз (тока относительно напряжения той же цепи) определяется любым из следующих трех способов:

$$\sin \varphi = \frac{\text{реактивное сопротивление}}{\text{полное сопротивление}},$$

$$\cos \varphi = \frac{\text{активное (омическое) сопротивление}}{\text{полное сопротивление}}.$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\text{реактивное сопротивление}}{\text{активное (омическое) сопротивление}}.$$

Реактивные сопротивления

Индуктивное сопротивление, оказываемое катушкой индуктивности переменному току, равно ωL ом (L — в генри) или для радиочастотных цепей, где чаще известна длина волны и индуктивность в сантиметрах:

$x_L = \frac{2L}{\lambda}$ (L — в сантиметрах, λ — волна в метрах; формула упрощенная, при точных расчетах вместо коэффициента 2 следует подставлять 1,885).

Емкостное сопротивление конденсатора при переменном токе:

$$x_c = \frac{1}{\omega C} \text{ ом } (C \text{ — в фарадах, } \omega = 2\pi f, f \text{ — в герцах}).$$

Для радиочастотных цепей емкостное сопротивление удобнее считать по такой формуле:

$$x_c = \frac{477 \lambda}{C} \text{ (} \lambda \text{ — волна в метрах, } C \text{ — в сантиметрах).}$$

Для низких звуковых частот индуктивное сопротивление определится по формуле:

$$x_L = 6,28f \cdot L \quad (L — \text{в генри, } f — \text{в герцах})$$

и емкостное сопротивление:

$$x_c = \frac{159\,000}{f \cdot C}$$

(C — в микрофарадах, как это чаще всего встречается в этих случаях, f — в герцах).

Таблица 3.4

Емкостное сопротивление конденсаторов в омах

Емкость в см	Волна (частота)						
	30 м (10 000 кГц)	100 м (3000 кГц)	250 м (1200 кГц)	500 м (600 кГц)	1500 м (200 кГц)	10 000 м (30 кГц)	Звуковая частота 1000 периодов
1	14 500	48 000	120 000	240 000	720 000	2 400 000	—
5	2 900	9 600	24 000	48 000	144 000	960 000	—
10	1 450	4 800	12 000	24 000	72 000	480 000	—
20	730	2 400	6 000	12 000	36 000	240 000	7 300 000
30	480	1 600	4 000	8 000	24 000	160 000	4 800 000
50	290	960	2 400	4 800	14 400	96 000	2 900 000
100	145	480	1 200	2 400	7 200	48 000	1 450 000
200	73	240	600	1 200	3 600	24 000	730 000
300	48	160	400	800	2 400	16 000	480 000
500	29	96	240	480	1 440	9 600	290 000
1000	14	48	120	240	720	4 800	145 000
2000	7	24	60	120	360	2 400	72 000
3000	4,8	16	40	80	240	1 600	48 000
5000	2,9	9,6	24	48	144	960	29 000
10 000	1,4	5	12	24	72	480	14 500
20 000	0,7	2,4	6	12	36	240	7 200
30 000	0,48	1,6	4	8	24	160	4 800
40 000	0,4	1,2	3	6	18	120	3 800
100 000	0,14	0,5	1,2	2,5	7,5	48	1 450
900 000 (1 мкФ)	0,015	0,05	0,12	0,25	0,75	5	150

Емкостные сопротивления конденсаторов при низкой частоте
(в омах)

Емкость	Для частоты							
	50 гц	250 гц	500 гц	1000 гц	2500 гц	5000 гц	10 000 гц	600 000 гц ($\nu = 500 \text{ м}$)
10 см . . .	290 000 000	57 500 000	29 000 000	14 500 000	5 750 000	2 900 000	1 450 000	24 200
50 » . . .	57 500 000	11 500 000	5 750 000	2 900 000	1 150 000	575 000	290 000	4 800
250 » . . .	11 500 000	2 300 000	1 150 000	575 000	230 000	115 000	57 500	960
1000 » . . .	2 900 000	575 000	290 000	145 000	57 500	29 000	14 500	242
2000 » . . .	1 450 000	290 000	145 000	72 000	29 000	14 000	7 250	121
5000 » . . .	575 000	115 000	57 500	29 000	11 500	5 750	2 900	48
25 000 » . . .	115 000	23 000	11 500	5 750	2 300	1 150	575	9,6
0,1 мкф . . .	32 000	6 400	3 200	1 600	640	320	160	2,6
0,5 » . . .	6 400	1 280	640	320	128	64	32	0,55
1,0 » . . .	3 200	640	320	160	64	32	16	0,26
2,0 » . . .	1 600	320	160	80	32	16	8	0,14
4,0 » . . .	800	160	80	40	16	8	4	0,065
10,0 » . . .	320	64	32	16	6,4	3,2	1,6	0,026

Индуктивные сопротивления катушек при высокой частоте в омах

Катушка		В о м а						
Индуктив- ность в мкГн	Соответствует стандартной ка- тушке	30 м 1000 (кГц)	100 м 3000 (кГц)	250 м 1200 (кГц)	500 м 600 (кГц)	1500 м 200 (кГц)	10 000 м 30 (кГц)	Эмпульс ча- стота 1000 Гц (1 кГц)
25	22 Витка	1 570	470	190	95,0	31,4	4,7	0,16
50	32 »	3 140	940	380	190	62,8	9,4	0,3
100	45 »	6 300	1 890	760	380	125	18,9	0,6
200	63 »	12 560	3 770	1 500	760	250	38	1,2
500	101 »	31 400	9 400	3 800	1 900	628	94	3,0
1 000	141 »	63 000	18 900	7 600	3 800	1 260	189	6,0
5 000	316 »	314 000	94 000	38 000	19 000	6 280	940	31
25 000	710 »	1 570 000	470 000	189 000	94 200	31 400	4 700	155
100 000 (0,1 м)	1410 »	6 300 000	1 890 000	756 000	378 000	126 000	18 900	630

Таблица 3.7

Индуктивные сопротивления катушек при низкой частоте в омах

Индуктивность	Д л я ч а с т о т ы						
	50 гц	250 гц	1000 гц	2500 гц	5000 гц	10 000 гц	600 000 гц (λ = 500 м.)
25 мкгсм	0,00008	0,04	0,16	0,39	0,78	1,57	94
100 »	0,031	0,16	0,63	1,57	3,14	6,3	377
250 »	0,078	0,39	1,57	3,9	7,85	15,7	942
1 000 »	0,31	1,57	6,9	15,7	31,4	62,8	3 770
5 000 »	1,57	7,9	31,5	78,5	157	315	19 000
25 000 »	7,8	39	157	390	785	1 570	94 200
0,1 см	31	157	628	1 570	3 140	6 280	377 000
1,25 »	78	390	1 570	3 900	7 850	15 700	942 000
1 »	314	1 570	6 280	15 700	31 400	62 800	3 770 000
5 »	1 570	7 850	31 400	78 500	157 000	314 000	19 000 000
25 »	7 850	39 000	157 000	390 000	785 000	1 510 000	94 000 000
100 »	31 400	157 000	628 000	1 570 000	314 000	6 280 000	380 000 000

Для 50-герцового тока эти формулы сводятся к таким:

$$x_L = 314 L \quad (L — \text{в генри})$$

$$x_c = \frac{3180}{C} \quad (C — \text{в микрофарадах}).$$

В приведенной на стр. 102 табл. 3. 9 основных зависимостей между сопротивлениями и проводимостями все величины должны быть даны в практических единицах

$$\omega = 2\pi f,$$

$$f — \text{в герцах},$$

$$L — \text{в генри},$$

$$C — \text{в фарадах},$$

$$r, x_L, x_c, Z — \text{в омах},$$

$$g, b, y — \text{в мо (обратных омах, ом}^{-1}\text{)}.$$

Приводим на стр. 95—97 готовые таблицы индуктивных и емкостных сопротивлений для различных величин индуктивностей и емкостей как для низких, так и высоких частот. Пользование этого типа таблицами экономит время и избавляет от возможных ошибок при быстрых ориентировочных расчетах.

Многофазные токи

Многофазной системой называется такая система, когда в электросети действует одновременно несколько электродвижущих сил, сдвинутых взаимно по фазам. Практически наиболее распространенным является *т р е х ф а з н ы й* ток, образуемый в машине тремя обмотками, сдвинутыми между собой на 120° .

Мгновенные значения э. д. с. или сил токов для любого момента времени определяются при трехфазном токе следующими равенствами:

$$e_1 = E_m \sin \omega t;$$

$$e_2 = E_m \sin (\omega t - 120^\circ);$$

$$e_3 = E_m \sin (\omega t - 240^\circ).$$

Если все три обмотки соединены своими началами в одной (рис. 3. 6) точке, то это соединение называется «звездой». Если же начало каждой обмотки присоединено к концу следующей, то этот способ (рис. 3. 7) соединения называется «треугольником». Общая точка при соединении «звездой» называется *нейтральной, или нулевой, точкой*. Провод, идущий от этой точки, называется *нулевым* и берется уменьшенного сечения, ибо по нему проходит ток, равный только разности токов в отдельных фазах.

Линейным напряжением U_L называется напряжение между любыми двумя проводниками трехпроводной трехфазной линии.

Линейным током I_L называется ток, текущий в одном из проводов трехпроводной трехфазной линии.

Фазным напряжением U_ϕ называется напряжение между любыми из проводов линии и нулевой точкой «звезды» (напряжение, вырабатываемое отдельной фазной обмоткой).

Фазным током I_ϕ называется ток, текущий в одной из сторон треугольника или в одном из лучей «звезды».

При соединении «звездой»:

$$I_{\text{л}} = I_{\Phi};$$

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi}.$$

При соединении «треугольником»:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi};$$

$$U_{\text{л}} = U_{\Phi}.$$

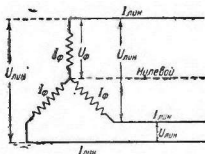


Рис. 3. 6. Включение электросети по схеме «звезда».

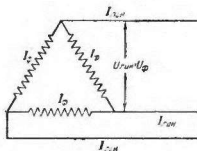


Рис. 3. 7. Включение электросети по схеме «треугольник».

Мощность в цепи трехфазного тока при равномерной нагрузке фаз равна:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi,$$

где φ — угол между фазным током и фазным напряжением.

Определение мощности действительно для любой схемы соединений. При равномерной нагрузке фаз в соединении «звездой» тока в нулевом проводе не будет.

Соединения R , L и

При соединении в цепях постоянного тока различных сопротивлений общее сопротивление цепи для постоянного тока вычисляется в зависимости от схемы соединения входящих в цепь постоянного тока сопротивлений — омических сопротивлений всех входящих в цепь приборов и деталей, включая и сопротивление соединительных проводников. В цепи, разделенной конденсатором (хотя бы и любой большой емкости), постоянный ток течь не может (ток, идущий на заряд конденсатора, в качестве постоянного тока не рассматривается). Формулы действительны для установившегося режима. Индуктивности входят в рассматриваемый тип формул при условии отсутствия связи между ними (при постоянном токе индуктивность рассматривается как источник накопления энергии посредством создания магнитного потока).

При последовательном соединении сопротивлений (индуктивностей) общее сопротивление (общая индуктивность) цепи увеличивается.

При последовательном включении конденсаторов общая емкость цепи уменьшается.

При параллельном соединении сопротивлений (индуктивностей) суммарное сопротивление (суммарная индуктивность) цепи уменьшается.

При параллельном соединении конденсаторов суммарная емкость их увеличивается.

Расчетные формулы приводим в общей табл. 3. 8.

Таблица 3. 8

	Параллельное включение	Последовательное включение
Сопротивления	$R_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$	$R_{\text{сум}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
Индуктивности	$L_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots}$	$L_{\text{сум}} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$
Емкости	$C_{\text{сум}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$	$C_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$

При расчете цепи из двух однотипных величин расчеты производятся по формуле более упрощенного вида:

$$R_{\text{пар}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad L_{\text{пар}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}; \quad C_{\text{послед}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2},$$

т. е. при параллельном соединении двух сопротивлений или индуктивностей, или при последовательном соединении конденсаторов суммарная величина находится как произведение величин этих двух составляющих, разделенное на их сумму.

При трех сопротивлениях R_1 , R_2 и R_3 их общее параллельное сопротивление будет определяться формулой:

$$R_{\text{пар}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}.$$

При большом количестве сопротивлений (а равно и конденсаторов и индуктивностей), соединенных в смешанные последовательно-параллельные группы, решение цепи проводится последовательным объединением парных сопротивлений в последовательные или параллельные группы. При каждом объединении групп число входящих в схему элементов постепенно уменьшается. Полные же формулы сложной цепи получаются обычно весьма громоздкими.

Весьма полезная формула при решении сложных участков цепи основывается на замене одного вида сопротивлений эквивалентным ему, но составленным по другому принципу.

На рис. 3. 9 изображены два участка цепи, эквивалентные в расчетном смысле (сопротивления между $A - B$, $B - C$ и $C - A$ равны соответственно сопротивлениям $A' - B'$, $B' - C'$ и $C' - A'$).

Перевод величин схемы «треугольника» в сопротивления схемы «звезды» производится по следующим формулам (рис. 3. 8):

$$r_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3};$$

$$r_2 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3};$$

$$r_3 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

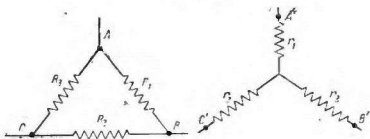


Рис. 3. 8. Треугольник сопротивлений и эквивалентная ему «звезда».

Сложные цепи переменного тока

Сопротивление и емкость — последовательно. В этом случае величина полного сопротивления цепи определится по формуле: }

$$Z = \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (r - \text{в омах, } C - \text{в фарадах});$$

при этом

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{1}{\omega C Z}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega C r}.$$

Сопротивление и индуктивность — последовательно дают цепь; полное сопротивление которой выражается через

$$Z = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2} \quad (L - \text{в генри});$$

при этом

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{\omega L}{Z}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{r}.$$

Сопротивление, емкость и индуктивность — последовательно. Полное сопротивление.

$$Z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (\text{омы, генри, фарады});$$

при этом

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{Z}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r}.$$

Эта формула наиболее часто встречается в радиопрактике. При резонансе $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ и полное сопротивление цепи Z делается равным:

$$Z = \sqrt{r^2 + 0^2} = r.$$

Все сопротивление для прохождения внутри его токов данной частоты делается равным r (активному сопротивлению).

Таблица 3.9

Основные зависимости между сопротивлениями и проводимостями в цепи переменного тока

Тип сопротивления	Обозначение	Выражение через другие величины
Индуктивное сопротивление	x_L	$x_L = \omega L$
Емкостное сопротивление	x_C	$x_C = \frac{1}{\omega C}$
Индуктивная проводимость	G_L	$\frac{1}{\omega L}$
Емкостная проводимость	G_C	ωC
Реактивное сопротивление	x	$x = x_L - x_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$
Полное сопротивление	Z	$Z = \sqrt{r^2 + x^2} = \frac{1}{y} = \frac{1}{\sqrt{g^2 + b^2}}$
Полная проводимость	y	$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + x^2}}$
Реактивная проводимость	b	$b = \frac{x}{r^2 + x^2} = \frac{x}{Z^2}$
Активное сопротивление	r	$r = \frac{g}{g^2 + b^2} = \frac{g}{y^2}$
Активная проводимость	g	$g = \frac{r}{r^2 + x^2} = \frac{r}{Z^2}$

При приближенном вычислении по приводимым выше формулам отдельные составляющие ωL и $\frac{1}{\omega C}$ можно брать из табл. на стр. 95—97.

Сопротивление и емкость — параллельно. Полное сопротивление такой цепи равно:

$$Z = \frac{r}{\sqrt{1 + r^2 \omega^2 C^2}}.$$

Индуктивность и сопротивление — параллельно. Полное сопротивление этих двух параллельных элементов может быть подсчитано по формуле:

$$Z = \frac{r \omega L}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}.$$

Цепи, состоящие из последовательно-параллельных ветвей, содержащих R , L и C , несмотря на кажущуюся иногда простоту и небольшое количество элементов, требуют для подсчета величин полных сопротивлений иногда чрезвычайно сложных и кропотливых вычислений. Наиболее простой способ расчетов таких цепей — комплексный метод в соединении с комбинационными соединениями сопротивлений и проводимостей отдельных участков цепи.

Для более сложных подсчетов приводим табл. 3. 10 активных и реактивных сопротивлений и проводимостей, а также $\cos \phi$ для подсчета угла сдвига фаз.

МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ

Напряженность магнитного поля. Если по длинному проводнику идет ток силой I а, то напряженность магнитного поля на расстоянии a сантиметров от оси проводника будет равна (для воздуха напряженность поля будет численно равняться магнитной индукции):

$$H = \frac{0,2 I}{a} = \frac{I}{5a} \text{ э.}$$

Напряженность магнитного поля в центре одиночного круглого витка радиусом R сантиметров будет равна:

$$H = \frac{0,628 I}{R} \text{ э.}$$

В случае узкой и бесконечно длинной катушки (соленоид) с равномерно распределенной по ее длине обмоткой внутри катушки напряженность магнитного поля можно вычислять по формуле:

$$H = 1,26 IN_1;$$

где N_1 — число витков, приходящихся на 1 см длины.

Эта формула чаще выражается такими обозначениями:

$$H = 1,26 \frac{AW}{\text{см}} \text{ (эрстед)}$$

Эта формула означает, что число ампер-витков на 1 см длины катушки равно 0,8 величины напряженности (в эрстедах) поля, создаваемого внутри той же катушки.

Практически этой формулой можно пользоваться для катушек (средней их частью), длина которых в 5 раз и больше превышает диаметр. Если в катушку вставлен железный сердечник, то эта формула выразит лишь намагничивающее поле тока, на которое, кроме того, наложится размагничивающее поле самого сердечника.

Магнитная цепь имеет чрезвычайно много аналогий с электрической цепью постоянного тока. Поэтому весь расчет магнитной цепи напоминает расчет цепи постоянного тока и рассчитывается по формулам, чрезвычайно напоминающим формулы законов Ома и Кирхгофа.

Аналогично электродвижущей силе действует *магнитодвижущая сила* E_m , равная для катушки из n витков при силе тока I а:

$$E_m = 1,26 n \cdot I \text{ (1,26 ампер-витков)} = 1,26 AW$$

(так как ампер-витки чаще всего обозначаются буквами AW).

При нескольких катушках общая магнитодвижущая сила, как при последовательном соединении источников электродвижущей силы, равна их сумме (считая, что магнитные поля, создаваемые ими, совпадают по направлению):

$$E_m = 1,26 A_1 W_1 + 1,26 A_2 W_2 + \dots$$

Эта магнитодвижущая сила создает магнитный поток, величина которого зависит от *магнитного сопротивления* данной цепи R_m :

$$R_m = \frac{l}{\mu S},$$

где l — длина магнитной цепи в сантиметрах,

S — поперечное сечение магнитной цепи в кв. сантиметрах,

μ — магнитная проницаемость вещества, заполняющего рассматриваемую часть пространства.

Как видно из последней формулы, сопротивление магнитной цепи аналогично формуле сопротивления заданного проводника: прямо пропорционально длине, обратно пропорционально сечению и прямо пропорционально коэффициенту $\frac{1}{\mu}$, аналогичному коэффициенту удельного сопротивления (μ — играет здесь роль удельной проводимости $\frac{1}{\rho}$).

Магнитный поток, вызываемый в данной магнитной цепи, определяется формулой закона Ома для магнитной цепи (аналогичной $I = \frac{E}{R}$)

$$\text{магнитный поток} = \frac{\text{магнитодвижущей силе}}{\text{магнитное сопротивление}}$$

$$\Phi = \frac{E_m}{R_m} = \frac{1,26 AW}{\mu S} \text{ (магнитных линий, или максвелл).}$$

Часто числовой коэффициент 1,26 (0,4 π) относят в знаменатель, поэтому формула принимает вид:

$$\text{магнитный поток } \Phi = \frac{AW}{\frac{0,8 l}{\mu S}} \text{ (магнитных линий, или максвелл).}$$

Из этой основной формулы закона Ома для магнитной цепи получаются все следствия, аналогичные всем следствиям, выведенным для цепи постоянного электрического тока. Перечислим главные из них, которые встречаются при практических расчетах:

а) Весьма легко вычислить сопротивление магнитной цепи, если эту цепь можно разбить на несколько участков, имеющих равномерное магнитное сопротивление по своей длине (магнитная цепь аналогично с цепью постоянного тока может иметь только непрерывно замкнутый магнитный поток). При последовательном прохождении нескольких участков поток встречает магнитное сопротивление, равное сумме таковых для отдельных участков. Полная формула в этом случае принимает вид:

$$\Phi = \frac{A_1 W_1 + A_2 W_2 + A_3 W_3 + \dots}{\frac{0,8 l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{0,8 l_2}{\mu_2 S_2} + \frac{0,8 l_3}{\mu_3 S_3} + \dots} \text{ (формула Гопкинсона).}$$

б) При разветвлении магнитного потока полное сопротивление, представляемое ему магнитной цепью, выражается как и в случае параллельного соединения сопротивлений:

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R'_m} = \frac{1}{R''_m} + \dots,$$

или для двух ветвей:

$$R_m = \frac{R'_m \cdot R''_m}{R'_m + R''_m},$$

иными словами: полная магнитная проводимость разветвленной цепи равна сумме таковых для ее отдельных ветвей.

в) При разветвлении магнитные потоки в ветвях обратно пропорциональны магнитным сопротивлениям этих ветвей, или прямо пропорциональны магнитным проводимостям их:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{(R_m)_2}{(R_m)_1}.$$

Во всяком месте разветвления сумма приходящих магнитных потоков равна сумме уходящих (аналогично первому закону Кирхгофа).

г) При обходе магнитной цепи по замкнутой линии сумма магнитодвижущих сил равна сумме произведений из магнитного потока каждого участка на его магнитное сопротивление. Равным образом, как это имеет место во втором законе Кирхгофа, при определении пути обхода магнитной цепи надо считать положительными те магнитные силы и потоки, которые совпадают с ним по направлению, и считать отрицательными те из них, которые направлены навстречу.

Напряженность магнитного поля, в котором помещается железо, выражается в эрстедах и обозначается через H . Однако чаще напряжение поля заменяют в расчетах магнитодвижущей силой (выражаемой обычно в $\frac{AW}{cm}$ — ампер-витках), приходящейся на 1 см длины катушки. Эти величины и количественно довольно близко подходят друг к другу:

$$\frac{AW}{cm} = 0,8 J,$$

что позволяет обычно с достаточной для практики точностью рассматривать и сравнивать кривые, составленные и для напряженности намагничивающего поля и для магнитодвижущей силы, приходящейся на 1 см длины катушки.

Магнитная проницаемость μ играет в законах магнитной цепи такую же роль, какую в законе Ома для постоянного тока играет удельная электропроводимость. Эта величина μ показывает, во сколько раз уменьшается магнитное сопротивление данного участка магнитной цепи благодаря наличию в нем вместо воздуха железа (или другого магнитного материала).

Магнитная проницаемость показывает, другими словами, во сколько раз при имеющейся неизменной магнитодвижущей силе увеличивается магнитный поток, приходящийся на 1 см² сечения.

Однако, если в цепях электрического тока удельная проводимость считается для данного материала (при небольших изменениях температуры) постоянной, то магнитная проницаемость резко отличается своей непостоянностью. Величина μ зависит от того, какой магнитный поток проходит через данное железо, или, иначе, до какого предела намагничено железо.

Магнитная индукция, обозначаемая обычно через B , показывает, до какой степени намагничивание доведено железо, и выражается числом линий, приходящихся на 1 см² поперечного (к направлению линий) сечения данного объема железа.

Основная зависимость между указанными тремя основными величинами:

$$B = \mu \cdot H = 1,26 \frac{AW}{cm} \cdot \mu \text{ (гауссов).}$$

Точных кривых намагничивания и вообще расчетных данных для магнитной цепи нельзя указать по той причине, что свойства железа в довольно широких пределах изменяются в зависимости от сорта, выделки, обработки, времени изготовления, завода и прочих трудно учитываемых условий. При больших партиях материалов данные железа промеряются в лаборатории и служат для получения более точных расчетных данных.

Приводим ниже кривые и данные, которые можно считать (грубо) средними для обычного трансформаторного железа при толщине листов 0,35—0,5 мм.

Зависимость магнитной проницаемости железа от величины магнитной индукции приведена на рис. 3. 9. Обычно используется область до индукции в 10 000 гс (10 килолний на 1 см²), т. е. до того момента, когда уменьшающаяся магнитная проницаемость доходит примерно до 2000, а для многих сортов железа еще ниже.

Например, магнитная цепь подмагничивания динамического громкоговорителя имеет обычно индукцию около 9000 гс при общей (не на 1 см) намагничивающей силе около 1500 AW.

В трансформаторах, применяемых для трансформации токов низкой частоты и имеющих целью неискаженную отдачу проходящих через трансформатор переменных токов, рабочим участком является только тот, где индукция

не превышает 4000—6000. Выбор этого участка легко уясняется из кривых (рис. 3. 10). Рабочим участком для трансформаторов, рассчитываемых на неискаженную передачу, будет прямолинейный участок кривой намагничивания, т. е. примерно от 0 до 1,4 на нижней кривой ($A_1 W_1$ на рис. 3. 10). Для трансформаторов силового типа, работающих на передачу мощности при одной (почти всегда 50 гц) частоте, допускается некоторое искажение формы передаваемого им тока. Максимальной цифрой для среднего качества трансформаторного железа надо считать 10 000 линий на 1 см². При этой индукции ($B_{\max} = 10\,000$) амплитуда основной синусоиды будет составлять

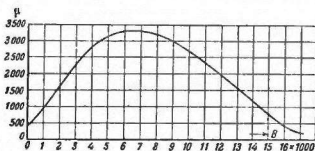


Рис. 3. 9. Кривая магнитной проницаемости.

обычно около 80%, третьей гармоники 16% и пятой 4,5% от максимального значения тока. При $B_{\max} = 20\,000$ амплитуда основной синусоиды составит только около 50% от максимального значения тока, что с точки зрения формы передаваемого тока уже считается недопустимым даже для силовых трансформаторов (не считая вопроса о чрезмерных потерях при такой индукции на гистерезис).

В радиотехнике часто приходится иметь дело с очень малыми намагничивающими полями. Кривые намагничивания в этих случаях следует брать по рис. 3. 11, где показаны кривые намагничивания для различных сортов динамного и трансформаторного железа. Трансформаторные сорта железа дают обычно несколько большие значения индукции при тех же ампер-витках.

Попутно укажем формулы, по которым можно подсчитать подъемную силу электромагнитов.

При работе электромагнита на два полюса сила развиваемого им притяжения:

$$Q_2 = \frac{B^2 S}{12\,500\,000} \text{ кг.}$$

При действии только одного полюса:

$$Q_1 = \frac{B^2 S}{25\,000\,000} \text{ кг.}$$

Указанные формулы составлены для того случая, когда притягиваемая плита (или груз) плотно соприкасается с плоской поверхностью в S см² сердечника электромагнитов (B — индукция, создаваемая у полюсов при замкнутом магнитопроводе).

Следующим вопросом, имеющим весьма важное значение при расчете трансформаторов, являются потери в железе. Делить потери на потери на гистерезис и на токи Фуко (вихревые токи) не будем, объединив их в полные потери.

Все потери, вызываемые в сердечнике трансформаторов (или вообще в машинах, подвергавшихся перемагничиванию в тех или иных частях зависят от максимальной индукции, частоты тока (числа перемагничиваний в секунду) и толщины листов, из которых собран сердечник. На рис. 3. 12 даны кривые полных потерь для листовой электротехнической стали, работающей при сравнительно больших индукциях и частоте 50 гц. Потери обычно указываются в ваттах, приходящихся на каждый килограмм материала. Для всевозможных пересчетов удельный вес всех сортов стали можно в среднем считать равным 7,7 г/см³.

Отдельные кривые относятся к различным сортам стали. Для чаще всего встречающегося в нашей аппаратуре уральского среднелегированного трансформаторного железа потери получаются в пределах между кривыми 2 и 4. Средними можно считать данные, указываемые кривой 3.

Влияние толщины листов, из которых собирается сердечник, можно проследить по следующим таблицам:

Таблица 3. 11

Полные потери листовой электротехнической стали при частоте 50 гц и $B_{\max} = 10\,000$ (потери даны в вт/кг)

Сорт	Толщина листов в мм							
	1.0	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Обычная динамная	7,5	4,20	3,90	3,60	3,35	3,15	3,00	2,85
Специальная динамная	5,5	3,45	3,20	3,00	2,80	2,60	2,45	2,30
Специальная динамная	4,3	2,95	2,75	2,60	2,45	2,35	2,25	2,17
Трансформаторная	3,1	1,90	1,80	1,75	1,64	1,55	1,50	1,50

Таблица 3. 12

Полные потери для листовой стали тех же сортов при частоте 50 гц и $B_{\max} = 15\,000$ (потери даны в вт/кг)

Сорт	Толщина листов в мм							
	1.0	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Обычная динамная	—	9,95	9,20	8,60	8,10	7,65	7,25	6,90
Специальная динамная	—	8,35	7,75	7,25	6,80	6,40	6,05	5,75
Специальная динамная	—	7,20	6,75	6,40	6,10	5,90	5,65	5,50
Трансформаторная	7,2	4,70	4,45	4,25	4,10	3,90	3,60	3,60

Как видно из этих таблиц, уменьшение толщины листов трансформаторной стали ниже 0,35 мм уже не вызывает уменьшения полных потерь. На рис. 3. 13 даны величины полных потерь для трансформаторной стали 0,3 мм при различных индукциях и различных частотах от 100 до 10 000 гц. Потери при повышенных (больше 10 000) частотах указаны на рис. 3. 14 для

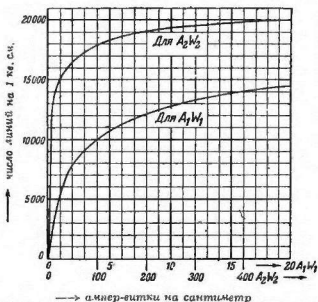


Рис. 3. 10. Кривые намагничивания трансформаторного железа.
Число линий для величин до 20 AW/cm отсчитывается по нижней кривой (A_1W_1) до 500 AW/cm — по верхней кривой (A_2W_2).

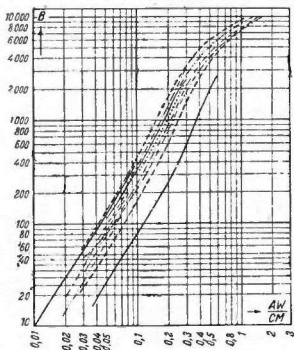


Рис. 3. 11. Кривые намагничивания при полях малой напряженности.

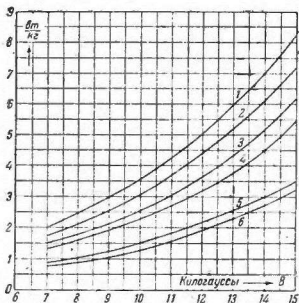


Рис. 3. 12. Кривые потерь на гистерезис и токи Фуко в листовой трансформаторной стали.

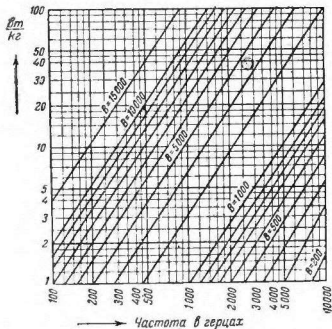


Рис. 3. 13. Кривые полных потерь в трансформаторной стали толщиной 0,3 мм при частоте 50 гц.

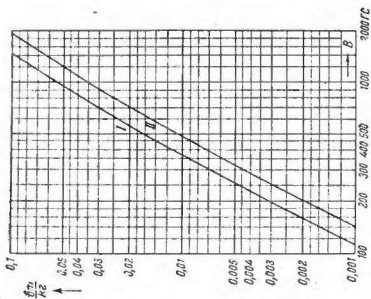


Рис. 3.15. Кривые полных потерь для листовой электротехнической стали толщиной 0,5 мм при частоте 50 гц.

I — специальная сталь,
II — трансформаторная сталь.

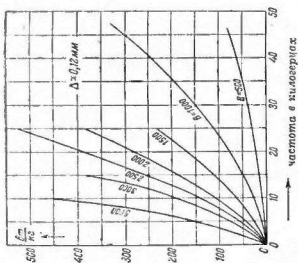


Рис. 3.14. Кривые потерь в зависимости от частоты.

листовой трансформаторной стали при толщине листов 0,12 мм. При повышенной частоте более благоприятные результаты дают сердечники, составленные из металлической пыли (опилки), спрессованной в каком-нибудь изолирующем веществе (лаке). При специальных обработках получается материал, имеющий ничтожные потери даже при радиочастотах (катушки Феррокарт дают очень малые потери, но при индукциях порядка немногих десятков гаусс).

Феррокарт работает обычно при индукциях от 10 до 15 гс. Более дешевый материал магнетит (спрессованный порошок, изготовленный из магнитного железняка) может работать на радиочастотах при индукциях около 5 гс. (см. раздел Радиочастотные катушки с железным сердечником на стр. 232—235).

Потери в листовой трансформаторной стали весьма быстро уменьшаются с уменьшением допускаемой индукции. На рис. 3. 15 даны кривые полных потерь при 50 гц для листов толщиной 0,5 мм, при пониженных величинах индукции.

Постоянные магниты имеют самые разнообразные характеристики в зависимости от примесей, обработки и пр.

Специальные магнитные (кобальтовые, никель-алюминиевые) сплавы могут держать индукцию до 12 000, в измерительных приборах в целях постоянства величины индукции обычно применяются магниты с индукцией около 1000 гс.

ПРОВОЛОКА И СОПРОТИВЛЕНИЯ

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И УДЕЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

В электротехнике удельным сопротивлением того или иного проводника принято называть выраженное в омах сопротивление проводника (из данного материала), имеющего в длину 1 м и равномерное по длине проводника поперечное сечение в 1 мм². Сопротивление измеряется постоянным током при температуре 15 или 20°. В физике удельным сопротивлением считается сопротивление между противоположными гранями куба из данного материала, имеющего все стороны по 1 см; сопротивление вычисляется для температуры 0°. Если оставить в стороне незначительную поправку на разность температур, то соотношение между удельными сопротивлениями этих обеих систем равно 10 000. Например, в электротехнике ρ для меди определяется как 0,0175 ом-мм²/м, в физике ρ для меди определяется как $1,75 \cdot 10^{-8}$ ом-см.

Стандартной единицей измерения считается международный ом, за который принимается сопротивление, оказываемое неизменяющемуся электрическому току при температуре таящего льда столбом ртути постоянной площади сечения, имеющим массу 14,4521 г и длину 106,3 см при указанной температуре.

Удельной проводимостью, обозначаемой γ , называют величину, обратную удельному сопротивлению:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ м/ом-мм}^2, \text{ или } \frac{1}{\rho} \text{ мо-м/мм}^2,$$

так как за единицу проводимости считают $\frac{1}{\text{ом}}$, называемую мо, обозначаемую иногда перевернутым международным знаком $\overline{\omega}$ (омега прописная).

Практически удельная проводимость в электротехнике обозначает, сколько метров провода из данного материала надо взять, чтобы при сечении проводника в 1 мм² его общее сопротивление сделалось равным 1 ом.

Для меди, например,

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0.0175} = 57 \text{ мо-м/мм}^2.$$

Удельные сопротивления и проводимости очень часто указываются в электротехнике только цифрой без обозначения, что это относится к проводу, имеющему сечение в 1 мм².

Сопротивление R провода, имеющего в длину l м и сечение S мм², вычисляется по формулам:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \text{ ом или } R = \frac{1,27 \rho \cdot l}{d^2} \text{ ом.}$$

Если вместо удельного сопротивления известна удельная проводимость, то

$$R = \frac{l}{S \cdot \gamma} \text{ ом, или } R = \frac{1,27 \cdot l}{d^2 \cdot \gamma}.$$

В этих формулах R — в омах, l — в метрах, S — в кв. миллиметрах, d — в миллиметрах, ρ и γ — как сказано выше.

При всех подсчетах сопротивления круглого провода весьма полезно всегда помнить, что площадь круга, имеющего в диаметре 1 мм², равняется 0,785 мм²; площадь, равная 1 мм², соответствует диаметру примерно в 1,13 мм.

Таблица 4.1

Удельные сопротивления, проводимости, температурные коэффициенты и удельные веса металлов

Наименование металла	Удельная проводимость при 20° Ц в м/ом·мм ²	Удельное сопротивление при 20° Ц в ом·мм ² /м	Среднее значение температурного коэффициента для температур от 0 до 100° Ц $\frac{1}{^\circ\text{Ц}}$	Удельный вес в г/см ³
Серебро	62,11	0,0161	0,00400	10,4
Медь электролитическая	59,52	0,0168	0,00445	8,9
Медь электротехническая	57	0,0175	0,004	8,9
Золото	42,19	0,0237	0,00377	19,1
Алюминий	35,97	0,0278	0,00423	2,65
Молибден	21,01	0,0476	0,00435	10,2
Вольфрам	16,34	0,0612	0,00464	18,7
Цинк	16,13	0,0620	0,00390	7,0
Тантал	15,50	0,0650	0,00350	16,6
Платина	11,55	0,0866	0,00247	21,3
Железо	10,89	0,0918	0,00625	7,9
Кобальт	9,17	0,109	0,00658	8,9
Никель	7,25	0,138	0,00621	8,8
Олово	6,99	0,143	0,00440	7,2
Свинец	4,52	0,221	0,00411	11,4
Ртуть	1,055	0,948	0,00027	13,6
Висмут	0,72	1,39	0,00354	9,8
Уголь ретортный	0,138	7,25	0,0003	1,88
Латунь	50—15	0,02—0,06	0,002	8,5

Примечание. Для материалов, применяемых практической электротехникой, основные данные несколько отличаются от приведенных в таблице (зависят от сорта, примесей, процесса изготовления и пр.).

МАРКИ ПРОВОДОВ И ШНУ

(по роду изоляции)

- ПИ — Провод Изолированный (общее сокращение).
- ПЭ
или ПЭН — Провод Эмалированный (Нормальный).
- ПЭЛ — Провод с бензиностойкой Эмалью.
- ПБ — Голый медный провод, обмотанный несколькими слоями ленты из кабельной Бумаги.
- ПББО — Голый медный Провод с несколькими слоями лент из кабельной Бумаги и несплошной обмоткой из хлопчатобумажной пряжи.
- ПБО — Провод, изолированный обмоткой хлопчатобумажной пряжей в Один слой.
- ПБД — Провод, изолированный обмоткой хлопчатобумажной пряжей в Два слоя.
- ПБТ — Провод, изолированный обмоткой хлопчатобумажной пряжей в Три слоя.
- ПББД — Провод, изолированный кабельной Бумагой и хлопчатобумажной пряжей в Два слоя.
- ПБОО — Провод с хлопчатобумажной изоляцией, обмотка Один слой и Оплетка.
- ПБДО — Провод, изолированный хлопчатобумажной пряжей, обмотка в Два слоя и Оплетка.
- ПЭБО — Провод, изолированный Эмалью и хлопчатобумажной пряжей в Один слой.
- ПЭБД — Провод, изолированный Эмалью и хлопчатобумажной пряжей в Два слоя.
- ПЭЛБД — Эмалированный медный Провод марки ПЭЛ с двумя слоями хлопчатобумажной пряжи.
- ПЭЛБО — Эмалированный медный провод марки ПЭЛ, обмотанный Одним слоем хлопчатобумажной пряжи.
- ПШО — Провод, изолированный Шелком в Один слой.
- ПШД — Провод, изолированный обмоткой Шелком в Два слоя.
- ПЭШО — Провод, изолированный Эмалью и Шелком в Один слой.
- ПЭШД — Провод, изолированный Эмалью и Шелком в Два слоя.
- ПЭЛШО — Эмалированный медный провод с одним слоем шелковой обмотки (для этой марки изоляции применяется эмалированная проволока марки ПЭЛ, отличающаяся высокой стойкостью против бензина).
- ПА — Провод, обмотанный Асбестовой пряжей.
- ПАО — Провод, Оплетенный Асбестовой пряжей.
- ЗП — Звонковый Проводник.
- ЗШ — Звонковый Шнур.
- ЗШТ — Звонковый Шнур Трехжильный.
- ШР — Шнур Изолированный.
- ШРН — Шнур Изолированный по Нормам.
- ШИБ — Шнур Изолированный Бумажный.
- ШРП — Шнур Резиновый Подвесной.
- ШИП — Шнур Изолированный Подвесной.
- ПВМ — Провод Воздушный, Медная жила.

- ЛВОО — гибкий провод, изолированный Одной обмоткой и одной Оплеткой.
 ЛВДО — гибкий провод, изолированный Двумя обмотками и одной Оплеткой из хлопчатобумажной пряжи.
 ГМК — Гибкий Машинный Кабель.
 ПРГН — Провод Резиновый Гибкий по Нормам.
 АР — Арматурный Резиновый.
 АРД — Арматурный Резиновый Двухжильный.
 ДПРН — Кабель Двойной Плоский Резиновый по Нормам.
 ДРСН — Кабель Двойной Резиновый со Спиралью по Нормам.
 ПРЛ — Провод Резиновый для Ламп.
 ПИН — Провод Изолированный Натуральной резиной.
 ПОО — Провод, Обмотанный и Оплетенный пряжей, пропитанной изолирующим составом.

В Германии и во Франции провода обозначаются так же, как и в СССР, в метрической системе единиц диаметром провода, выраженным в миллиметрах. Иногда провод обозначается площадью сечения в квадратных миллиметрах. В Англии и в США диаметр провода указывается номером стандартной шкалы, составленной таким образом, что каждый следующий номер отличается примерно на 10%. В США, можно считать, применяется только одна стандартная шкала номеров. В Англии же основная стандартная шкала (SWG) дополняется еще бирмингемской таблицей проводов (BWG) и иногда американской. Кроме того, во Франции иногда пользуются номерами проводов, имеющих определенную зависимость от десятых долей миллиметра. Приводим ниже сравнительную таблицу различных номенклатур.

Сокращенные обозначения, встречающиеся в англо-американской технической литературе:

SWG (Standard Wire Gauge) — стандартная (английская) проволоочная шкала.

BWG (Birmingham Wire Gauge) — бирмингемская (английская) проволоочная шкала.

AWG (American Wire Gauge) — американская шкала, иначе обозначаемая B. & S. — Brown and Sharpe.

FWG — Французская проволоочная шкала.

Сорта обмотки проводов сокращенно обозначаются следующим образом:

SCC (Single Cotton Cover) — одинарная бумажная обмотка.

DCC (Double Cotton Cover) — двойная бумажная обмотка.

TCC (Triple Cotton Cover) — тройная бумажная обмотка.

SSC (Single Silk Cover) — одинарная шелковая обмотка.

DSC (Double Silk Cover) — двойная шелковая обмотка.

ESC (Enamaled Silk Cover) — эмалированный с одинарной шелковой обмоткой.

В американской (редко английской) практике встречается еще обозначение провода диаметром в mils (1 мил = 0,001 дм.) или площадью поперечного сечения в circular mils — в круговых милях. Единица площади — 1 круговой мил — равна площади круга, диаметр которого равен 1 милу = 0,001 дм.; 1 мм² равен примерно 2000 круговым милям (точнее 1975). Например, в американской системе обозначений провод B. & S. № 20 может быть отмечен как имеющий в диаметре 32 mils, или 0,032 дм. (0,812 мм), или как провод с сечением в 1022 cir. mils, или 0,000802 sq. inches (кв. дм.). В миллиметрах сечение этого провода равно 0,52 мм².

1 круговой мил = 0,7854 кв. мил = 0,000 507 мм².

Таблица 4.2

Таблица перевода заграничной номенклатуры проводов

(цифры в таблице указывают диаметр соответствующих номеров провода в миллиметрах)

№ провода	BWG—Birmingham Wire Gauge (Stubs)	SWG—British Standard Wire Gauge	AWG или B. & S.	SSG—United States Standard Sheet Gauge	Французский		Миллиметровая шкала	Немецкая шкала	№ провода
					I шкала старая	II шкала новая			
7—0	—	12,7	—	12,7	—	—	—	—	7—0
6—0	—	11,8	—	11,9	—	—	—	—	6—0
5—0	—	10,97	—	11,1	—	—	—	—	5—0
4—0	11,5	10,15	11,7	10,3	—	—	—	—	4—0
000	10,8	9,19	10,4	9,52	—	—	—	—	000
00	9,15	8,33	9,27	8,73	—	—	—	—	00
0	8,63	8,22	8,25	7,94	—	—	—	—	0
1	7,62	7,62	7,35	7,14	0,84	0,6	0,1	5,5	1
2	7,21	7,01	6,54	6,74	1,02	0,7	0,2	5,0	2
3	6,58	6,40	5,83	6,34	1,27	0,8	0,3	4,5	3
4	6,04	5,89	5,19	5,95	1,60	0,9	0,4	4,25	4
5	5,58	5,38	4,62	5,56	1,73	1,0	0,5	4,0	5
6	5,15	4,88	4,12	5,16	2,10	1,1	0,6	3,75	6
7	4,57	4,47	3,67	4,76	2,46	1,2	0,7	3,50	7
8	4,19	4,06	3,26	4,36	2,80	1,3	0,8	3,25	8
9	3,76	3,65	2,91	3,97	3,05	1,4	0,9	3,00	9
10	3,40	3,25	2,59	3,57	3,43	1,5	1,0	2,75	10
11	3,05	2,95	2,31	3,18	3,78	1,6	1,1	2,50	11
12	2,77	2,64	2,05	2,78	4,11	1,8	1,2	2,25	12
13	2,41	2,34	1,83	2,38	4,36	2,0	1,3	2,0	13
14	2,11	2,03	1,63	1,98	4,70	2,2	1,4	1,75	14
15	1,83	1,83	1,45	1,79	5,0	2,4	1,5	1,50	15
16	1,65	1,63	1,29	1,59	5,4	2,7	1,6	1,375	16
17	1,47	1,42	1,15	1,43	5,7	3,0	1,7	1,250	17
18	1,24	1,22	1,02	1,27	6,01	3,4	1,8	1,125	18
19	1,07	1,02	0,912	1,11	6,3	3,9	1,9	1,000	19
20	0,889	0,914	0,812	0,952	6,7	4,4	2,0	0,875	20
21	0,812	0,812	0,723	0,874	7,1	5,0	2,1	0,750	21

№ провода	BWG—Birmingham Wire Gauge (Stubs)	SWG—British Standard Wire Gauge	AWG или B. & S.	SSG—United States Standard Sheet Gauge	Французская		Миллиметровая шкала	Немецкая шкала	№ провода
					I шкала старая	II шкала новая			
22	0,711	0,711	0,644	0,792	7,4	—	2,2	0,625	22
23	0,635	0,610	0,573	0,714	7,7	—	2,3	0,562	23
24	0,558	0,558	0,511	0,637	8,0	—	2,4	0,500	24
25	0,508	0,508	0,455	0,553	8,4	—	2,5	0,438	25
26	0,457	0,457	0,405	0,475	8,7	—	2,6	—	26
27	0,406	0,417	0,361	0,437	9,0	—	2,7	—	27
28	0,356	0,376	0,321	0,396	9,4	—	2,8	—	28
29	0,330	0,345	0,286	0,358	9,6	—	2,9	—	29
30	0,305	0,315	0,255	0,318	10,0	—	3,0	—	30
31	0,254	0,295	0,227	0,277	10,4	—	3,1	—	31
32	0,229	0,274	0,202	0,257	10,7	—	3,2	—	32
33	0,203	0,254	0,180	0,239	10,9	—	3,3	—	33
34	0,178	0,233	0,160	0,218	11,4	—	3,4	—	34
35	0,127	0,213	0,143	0,198	11,6	—	3,5	—	35
36	0,102	0,193	0,127	0,178	12,0	—	3,6	—	36
37	—	0,173	0,113	0,168	12,3	—	3,7	—	37
38	—	0,152	0,101	0,158	12,7	—	3,8	—	38
39	—	0,132	0,0897	—	13,0	—	3,9	—	39
40	—	0,122	0,0799	—	13,3	—	4,0	—	40
41	—	0,112	0,0711	—	—	—	—	—	41
42	—	0,102	0,0633	—	—	—	—	—	42
43	—	0,091	0,0564	—	—	—	—	—	43
44	—	0,079	0,0502	—	—	—	—	—	44
45	—	0,071	0,0447	—	—	—	—	—	45
46	—	0,061	0,0399	—	—	—	—	—	46
47	—	0,051	0,0355	—	—	—	—	—	47
48	—	0,041	0,0316	—	—	—	—	—	48
49	—	0,030	0,028	—	—	—	—	—	49
50	—	0,025	0,026	—	—	—	—	—	50

МЕДНЫЙ ПРОВОД

При составлении основных таблиц медного провода отдельные данные высчитывались следующим образом:

Сечение провода:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0,7854 d^2,$$

где d — диаметр в миллиметрах.

Удельный вес меди равен 8,9, что дает возможность с очень большой точностью определить вес 1 м провода диаметром d мм по простой формуле:

$$\text{вес} = 7d^2 \text{ г.}$$

Если известно только сечение, то вес 1 м провода определяется по формуле:

$$\text{вес} = 8,9 S \text{ г,}$$

где S — сечение медного провода в кв. миллиметрах. С достаточно большой точностью по приведенным формулам можно высчитывать вес реостатных проводников (никелин, константан и др.). В таблицах вес подсчитан для 100 м провода в целях более удобного счета в граммах.

Сопротивление 100 м провода подсчитано из расчета удельного сопротивления $\rho = 0,0175 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ (что соответствует удельной проводимости в 57 мо).

Сопротивление 100 м медного провода подсчитано по формуле:

$$R_{100} = \frac{2,23}{d^2},$$

где d — диаметр медного провода (голого) в миллиметрах,

R — сопротивление 100 м провода при 20° Ц в омах

Допустимые нагрузки в основной таблице 4. 5 приведены для плотности тока в 2 а/мм² и для повышенной плотности в 3 а/мм². Для пониженной плотности в 1 а/мм² значения сил тока можно брать прямо из графы сечения провода, ибо каждому кв. миллиметру будет соответствовать ток в 1 а. Для расширения данных таблиц в разделе эмалированной проволоки последняя графа дает еще допустимые нагрузки при плотности тока в 1,5 а/мм².

Температурный коэффициент меди с очень большой для практических целей точностью можно брать равным 0,004 на 1° Ц.

Сопротивление медного провода при температуре T определяется из формулы:

$$R_T = R_{20} [1 + 0,004 (T - 20)],$$

где R_T — сопротивление при заданной температуре,

R_{20} — сопротивление при 20° (берется из основной таблицы),

T — заданная температура в градусах Цельсия.

Сопротивление на разрыв:

для отожженной медной проволоки в среднем — 23 кг/мм²,

для твердотянутой медной проволоки в среднем — 40 кг/мм².

Удлинение при разрыве провода длиной 200 мм:

для мягкой отожженной меди — 20—30%,

для твердотянутой меди — 1,5—3%.

Обмоточная проволока, как правило, представляет мягкую отожженную медь. Твердотянутая проволока несколько дешевле (так как экономится лишний отжиг после вальцовки) и вследствие увеличенной механической крепости применяется главным образом, для воздушной проводки.

Изменение сопротивления медного провода при нагревании

(сопротивление при 20° Ц принято за единицу)

Темпера- тура в °Ц	$\frac{R_T}{R_{20}}$	Темпера- тура в °Ц	$\frac{R_T}{R_{20}}$	Темпера- тура в °Ц	$\frac{R_T}{R_{20}}$
0	0,920	34	1,056	68	1,192
1	0,924	35	1,060	69	1,196
2	0,928	36	1,064	70	1,200
3	0,932	37	1,068	71	1,204
4	0,936	38	1,072	72	1,208
5	0,940	39	1,076	73	1,212
6	0,944	40	1,080	74	1,216
7	0,948	41	1,084	75	1,220
8	0,952	42	1,088	76	1,224
9	0,956	43	1,092	77	1,228
10	0,960	44	1,096	78	1,232
11	0,964	45	1,100	79	1,236
12	0,968	46	1,104	80	1,240
13	0,972	47	1,108	81	1,244
14	0,976	48	1,112	82	1,248
15	0,980	49	1,116	83	1,252
16	0,984	50	1,120	84	1,256
17	0,988	51	1,124	85	1,260
18	0,992	52	1,128	86	1,264
19	0,996	53	1,132	87	1,268
20	1,000	54	1,136	88	1,272
21	1,004	55	1,140	89	1,276
22	1,008	56	1,144	90	1,280
23	1,012	57	1,148	91	1,284
24	1,016	58	1,152	92	1,288
25	1,020	59	1,156	93	1,292
26	1,024	60	1,160	94	1,296
27	1,028	61	1,164	95	1,300
28	1,032	62	1,168	96	1,304
29	1,036	63	1,172	97	1,308
30	1,040	64	1,176	98	1,312
31	1,044	65	1,180	99	1,316
32	1,048	66	1,184	100	1,320
33	1,052	67	1,188		

Удельный вес твердотянутой меди можно считать в 8,95 (вместо 8,90 для мягкой отожженной).

Диаметр витой жилы (шнура) можно определить, зная число проволок (жил) и диаметр каждой проволоки, по следующей таблице:

Число проволок в проводе . . .	3	7	19	37	61	91
Множитель	2,16	3	5	7	9	11

В нижней строке даны числа, на которые надо множить диаметр одной проволоки (жилы), чтобы получить действующий диаметр витого провода.

Круглый медный провод

Стандартизация размеров обмоточной (часто называемой еще динамомашинной) изолированной проволоки имеет весьма большое значение как с точки зрения производства самой проволоки (машины, количество штампов, склады, оборотные средства), так и с точки зрения потребителя (выбор ближайшего к расчетному диаметру провода, коэффициент заполнения окна, упрощение расчетных таблиц и пр.). Американский стандарт включает около 50 номеров провода (приведены в конце данного раздела), диаметры которых выбраны таким образом, что диаметр каждого следующего номера превышает предыдущий приблизительно на 12%. Немецкие нормы имеют шкалу диаметров, составленную по приближительной геометрической прогрессии со знаменателем 1,05—1,07.

Общесоюзный стандарт 4123 включает 78 проволок в диапазоне от 0,03 до 3,80 мм (диаметром). В этой шкале площади сечения идут примерно с надбавкой 16% и диаметры — с увеличением на 8% (с некоторыми округлениями и отклонениями).

Приводим в табл. 4.4 геометрические размеры допуска и веса круглой голой обмоточной меди по ОСТ 4123.

Провод с изоляцией

Основная таблица 4.5 медных проводов составлена для голых проводов. Провод в изоляции имеет увеличенный диаметр (рис. 4.1) и бес на ту же длину провода. Точных цифр толщины слоя изоляции того или иного типа, а равно и накладки в весе, вносимой изоляцией, заводы не гаранти-

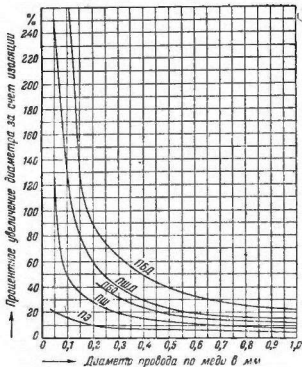


Рис. 4.1. Процентное увеличение диаметра провода в изоляции.

Стандартные размеры допуска и веса провода по ГОСТ 4123

Номинальный диаметр в мм	Предельное отклонение в мм	Сечение в мм ²	Вес 1 км в кг
0,03		0,00071	0,0063
0,04		0,00126	0,0112
0,05		0,00196	0,0175
0,06		0,00283	0,0252
0,07		0,00385	0,0343
0,08		0,00502	0,0448
0,09		0,00686	0,0567
0,10		0,00785	0,070
0,11		0,00950	0,085
0,12		0,01131	0,101
0,13		0,01327	0,118
0,14		0,01589	0,137
0,15		0,01767	0,158
0,16		0,02011	0,179
0,17		0,02270	0,202
0,18		0,02545	0,227
0,19		0,02840	0,253
0,20		0,03142	0,280
0,21		0,03462	0,309
0,23		0,04155	0,370
0,25		0,04409	0,437
0,27		0,05726	0,510
0,29		0,06605	0,589
0,31		0,07548	0,673
0,33		0,08553	0,762
0,35		0,09621	0,857
0,38		0,11341	1,011

Номинальный диаметр в мм	Предельное отклонение в мм	Сечение в мм ²	Вес 1 км в кг
0,41	)	0,13202	1,177
0,44		0,15205	1,355
0,47		0,17349	1,546
0,49	)	0,18848	1,675
0,51		0,20428	1,821
(0,53)		0,22062	1,960
0,55	)	0,23758	2,118
(0,57)		0,25505	2,267
0,59		0,27340	2,437
(0,62)	± 0,01	0,30191	2,691
0,64		0,32170	2,877
(0,67)		0,35256	3,142
0,69	)	0,37393	3,388
(0,72)		0,40715	3,629
0,74		0,43008	3,833
(0,77)	)	0,46556	4,150
0,80		0,50265	4,430
(0,83)		0,54106	4,822
0,86	)	0,58088	5,177
(0,90)		0,63617	5,670
0,93		0,67929	6,054
(0,96)	)	0,72882	6,451
1,00		0,78540	7,000
(1,04)		0,8495	7,872
1,08	± 0,02	0,9161	8,165
(1,12)		0,9852	8,781
1,16		1,0568	9,410

Номинальный диаметр в мм	Предельное отклонение в мм	Сечение в мм ²	Вес 1 км в кг
(1,20)		1,1310	10,081
1,25		1,2272	10,937
(1,30)		1,3273	11,830
1,35	± 0,02	1,4314	12,757
(1,40)		1,5394	13,731
1,45		1,6513	14,717
(1,50)		1,7671	15,750
1,56		1,9113	17,035
(1,62)		2,0612	18,371
1,68		2,2167	19,757
(1,74)		2,3779	21,194
1,81		2,5730	22,933
(1,88)	± 0,025	2,7759	24,742
1,95		2,9865	26,617
(2,02)		3,2047	28,563
2,10		3,4637	33,877
2,26		4,0115	35,753
2,44		4,675	41,675
2,63	± 0,03	5,4325	48,418
2,83		6,2902	56,062
3,05		7,3062	65,117
3,28	± 0,04	8,4496	75,309
3,58		9,7868	87,226
3,80		11,341	101,08

Размеры меди, стоящие в скобках, не рекомендуются и применяются лишь тогда, когда это дает по расчету экономию меди.

Медный провод без изоляции

Диаметр (без изоляции) в мм	Сечение в мм ²	Вес 100 м (без изоляции) в г	Длина на 1 кг (без изоляции) в м	Сопротивление 100 м в ом	Длина на 1 ом в м	Допустимая нагрузка в а	
						при 2 а/мм ²	при 3 а/мм ²
0,025	0,00049	0,437	229000	3570	0,028	0,00098	0,00147
0,030	0,00071	0,630	159000	2470	0,0405	0,00142	0,00213
0,035	0,00096	0,857	117000	1820	0,0549	0,00192	0,00288
0,040	0,00126	1,12	89300	1390	0,0719	0,00252	0,00378
0,045	0,00159	1,42	70400	1100	0,0909	0,00318	0,00477
0,050	0,00196	1,75	57200	892	0,112	0,00392	0,00588
0,055	0,00238	2,12	47200	735	0,136	0,00476	0,00714
0,060	0,00283	2,52	39700	618	0,162	0,00566	0,00849
0,065	0,00332	2,96	33800	527	0,190	0,00664	0,00996
0,070	0,00385	3,43	29200	454	0,220	0,00770	0,0116
0,075	0,00442	3,94	25500	396	0,253	0,00884	0,0133
0,080	0,00503	4,48	22300	348	0,287	0,0101	0,0151
0,085	0,00567	5,06	16800	309	0,334	0,0113	0,0170
0,090	0,00606	5,67	17600	275	0,264	0,0127	0,0191
0,095	0,00709	6,32	15800	247	0,405	0,0142	0,0213
0,10	0,00785	7,00	14300	223	0,448	0,0157	0,0235
0,11	0,00950	8,50	11800	181	0,543	0,0190	0,0285
0,12	0,0113	10,1	9900	155	0,645	0,0226	0,0339
0,13	0,0133	11,8	8480	132	0,758	0,0266	0,0399
0,14	0,0154	13,7	7300	114	0,877	0,0308	0,0462
0,15	0,0177	15,8	6330	98,8	1,01	0,0354	0,0530
0,16	0,0201	17,9	5590	87,0	1,15	0,0402	0,0603
0,17	0,0227	20,2	4950	77,0	1,30	0,0454	0,0681
0,18	0,0255	22,7	4410	68,6	1,46	0,0510	0,0765
0,19	0,0284	25,3	3950	61,6	1,62	0,0568	0,0852
0,20	0,0314	28,0	3570	55,7	1,80	0,0628	0,0942
0,21	0,0346	30,9	3240	50,6	1,98	0,0692	0,104
0,22	0,0380	33,9	2950	46,0	2,17	0,0760	0,114
0,23	0,0416	37,0	2700	42,1	2,38	0,0832	0,125
0,24	0,0452	40,3	2480	38,7	2,58	0,0904	0,136

Диаметр (без изоляции) в мм	Сечение в мм ²	Вес 100 м (без изоляции) в г	Длина на 1 кг (без изоляции) в м	Сопротивление 100 м в ом	Длина на 1 ом в м	Допустимая нагрузка в а	
						при 2 а/мм ²	при 3 а/мм ²
0,25	0,0491	43,7	2290	35,6	2,81	0,0982	0,147
0,26	0,0531	47,3	2110	32,9	3,04	0,106	0,159
0,27	0,0573	51,0	1960	31,0	3,23	0,115	0,172
0,28	0,0616	54,9	1820	28,4	3,52	0,123	0,185
0,29	0,0661	58,9	1700	26,5	3,77	0,132	0,198
0,30	0,0707	63,0	1590	24,8	4,03	0,141	0,212
0,31	0,0755	67,3	1480	23,2	4,31	0,051	0,227
0,32	0,0804	71,7	1390	21,8	4,59	0,161	0,241
0,33	0,0885	76,2	1310	20,5	4,88	0,171	0,257
0,34	0,0908	80,9	1240	19,3	5,18	0,182	0,273
0,35	0,0962	85,7	1170	18,2	5,49	0,192	0,289
0,36	0,102	90,7	1100	17,2	5,81	0,204	0,306
0,37	0,108	95,8	1040	16,2	6,17	0,216	0,324
0,38	0,113	101	990	15,5	6,45	0,226	0,339
0,39	0,119	107	935	14,7	6,80	0,238	0,357
0,40	0,126	112	893	13,9	7,19	0,252	0,378
0,41	0,132	118	847	13,3	7,52	0,264	0,396
0,42	0,139	124	806	12,6	7,94	0,278	0,417
0,43	0,145	129	775	12,1	8,26	0,290	0,435
0,44	0,152	136	735	11,5	8,70	0,304	0,456
0,45	0,159	142	704	11,0	9,01	0,318	0,477
0,46	0,166	148	676	10,5	9,52	0,332	0,498
0,47	0,173	155	645	10,1	9,90	0,346	0,519
0,48	0,181	161	621	9,66	10,4	0,352	0,543
0,49	0,189	168	595	9,26	10,8	0,378	0,567
0,50	0,196	175	571	8,92	11,2	0,392	0,588
0,52	0,212	189	529	8,25	12,1	0,424	0,636
0,54	0,229	204	490	7,54	13,3	0,458	0,687
0,55	0,238	212	472	7,35	13,6	0,476	0,714
0,56	0,246	220	455	7,11	14,1	0,492	0,738
0,58	0,264	236	424	6,63	15,1	0,528	0,792
0,60	0,283	252	397	6,18	16,2	0,566	0,849
0,62	0,302	269	372	5,79	17,3	0,604	0,906

Диаметр (без изоляции) в мм	Сечение в мм ²	Вес 100 м (без изоляции) в г	Длина на 1 кг (без изоляции) в м	Сопротивление 100 м в ом	Длина на 1 ом в м	Допустимая нагрузка в а	
						при 2 а/мм ²	при 3 а/мм ²
0,64	0,322	288	347	5,44	18,4	0,644	0,966
0,65	0,332	296	338	5,27	19,0	0,664	0,996
0,66	0,342	305	328	5,12	19,5	0,684	1,03
0,68	0,363	324	309	4,82	20,7	0,726	1,09
0,70	0,385	343	292	4,55	22,0	0,770	1,16
0,72	0,407	363	275	4,30	23,3	0,814	1,22
0,74	0,430	383	261	4,07	24,6	0,860	1,29
0,75	0,442	394	254	3,96	25,3	0,882	1,33
0,76	0,454	404	248	3,85	26,0	0,908	1,36
0,78	0,478	426	235	3,66	27,3	0,956	1,43
0,80	0,503	448	223	3,48	28,7	1,01	1,51
0,82	0,528	471	212	3,31	30,2	1,06	1,58
0,84	0,554	494	202	3,16	31,6	1,11	1,66
0,85	0,567	506	198	3,09	32,4	1,13	1,70
0,86	0,581	518	193	3,01	33,2	1,16	1,74
0,88	0,608	542	185	2,88	34,7	1,22	1,82
0,90	0,636	567	176	2,75	36,4	1,27	1,91
0,92	0,665	593	169	2,63	38,0	1,33	2,0
0,94	0,694	620	161	2,52	39,7	1,39	2,08
0,95	0,709	632	158	2,47	40,5	1,42	2,13
0,96	0,724	645	155	2,42	41,3	1,45	2,17
0,98	0,754	672	149	2,32	43,1	1,51	2,26
1,00	0,785	701	143	2,33	44,8	1,57	2,35
1,05	0,866	772	130	2,01	49,0	1,73	2,60
1,10	0,950	847	118	1,84	54,3	1,90	2,85
1,15	1,04	926	108	1,68	59,5	2,08	3,12
1,20	1,13	1010	99,0	1,55	64,5	2,26	3,39
1,25	1,21	1090	91,7	1,45	69,0	2,42	3,63
1,30	1,33	1180	84,7	1,32	75,8	2,66	3,99
1,35	1,43	1280	78,1	1,23	81,3	2,86	4,29

Диаметр (без изоляции) в мм	Сечение в мм ²	Вес 100 м (без изоляции) в г	Длина на 1 км ² (без изоляции) в м	Сопротивление 100 м в ом	Длина на 1 ом в м	Допустимая нагрузка в а	
						при 2 а/мм ²	при 3 а/мм ²
1,40	1,54	1370	73,0	1,14	87,7	3,08	4,62
1,45	1,65	1470	68,0	1,06	94,3	3,30	4,95
1,50	1,77	1580	63,3	0,989	101	3,54	5,31
1,55	1,89	1680	59,5	0,926	108	3,78	5,67
1,60	2,01	1790	55,9	0,870	115	4,02	6,03
1,65	2,14	1910	52,4	0,818	122	4,28	6,42
1,70	2,27	2020	49,5	0,770	130	4,54	6,81
1,75	2,41	2140	46,7	0,726	138	4,82	7,23
1,80	2,54	2270	44,1	0,689	145	5,08	7,62
1,85	2,69	2400	41,7	0,650	151	5,38	8,07
1,90	2,84	2530	39,5	0,616	162	5,68	8,52
1,95	2,99	2660	37,6	0,585	171	5,98	8,97
2,00	3,14	2800	35,7	0,557	180	6,28	9,42
2,05	3,30	2950	33,9	0,530	189	6,60	9,90
2,10	3,46	3090	32,4	0,503	199	6,92	10,4
2,15	3,63	3240	30,9	0,482	207	7,26	10,9
2,20	3,80	3390	29,5	0,460	217	7,60	11,4
2,25	3,98	3540	28,2	0,440	227	7,96	11,9
2,30	4,15	3700	27,0	0,422	237	8,30	12,5
2,35	4,34	3870	25,8	0,403	248	8,68	13,0
2,40	4,52	4030	24,8	0,387	258	9,04	13,6
2,45	4,71	4200	23,8	0,372	269	9,42	14,1
2,50	4,91	4380	22,8	0,356	281	9,82	14,7
2,55	5,11	4550	22,0	0,345	290	10,2	15,3
2,60	5,31	4730	21,1	0,330	303	10,6	15,9
2,65	5,52	4920	20,3	0,316	316	11,0	16,6
2,70	5,73	5100	19,6	0,306	321	11,5	17,2
2,75	5,94	5290	18,9	0,295	339	11,9	17,8
2,80	6,16	5490	18,2	0,284	352	12,3	18,5
2,85	6,38	5690	17,6	0,274	365	12,8	19,1
2,90	6,61	5890	17,0	0,265	377	13,2	19,8
2,95	6,83	6090	12,2	0,256	391	13,7	20,5
3,0	7,07	6300	15,9	0,248	403	14,1	21,2

Диаметр (без изоляции) в мм	Сечение в мм ²	Вес 100 м (без изоляции) в г	Длина из 1 кг (без изоляции) в м	Сопротивление 100 м в ом	Длина из 1 ом в м	Допустимая нагрузка в а	
						при 2 а/мм ²	при 3 а/мм ²
3,1	7,55	6780	14,9	0,232	431	15,1	22,7
3,2	8,04	7170	13,9	0,218	459	16,1	24,1
3,3	8,55	7620	13,1	0,205	485	17,1	25,7
3,4	9,08	8090	12,4	0,193*	518	18,2	27,2
3,5	9,62	8580	11,7	0,182	549	19,2	28,9
3,6	10,2	9070	11,0	0,172	581	20,4	30,6
3,7	10,8	9580	10,4	0,162	617	21,6	32,4
3,8	11,3	10100	9,90	0,155	645	22,6	33,9
3,9	11,9	10600	9,43	0,147	680	23,8	35,7
4,0	12,6	11200	8,93	0,139	719	25,2	37,8
4,1	13,2	11800	8,47	0,133	752	26,4	39,6
4,2	13,9	12300	8,13	0,126	794	27,8	41,7
4,3	14,5	12900	7,75	0,121	826	29,0	43,5
4,4	15,2	13600	7,35	0,115	870	30,4	45,6
4,5	15,9	14200	7,04	0,110	909	31,8	47,7
4,6	16,6	14800	6,76	0,105	952	33,2	49,8
4,7	17,3	15400	6,49	0,101	990	34,6	51,9
4,8	18,1	16100	6,21	0,0966	1035	36,2	54,3
4,9	18,9	16800	5,95	0,0926	1080	37,8	56,7
5,0	19,6	17500	5,71	0,0892	1120	39,2	58,8
5,5	23,8	21200	4,72	0,0735	1360	47,6	71,4
6,0	28,3	25200	3,97	0,0618	1620	56,6	84,9
6,5	33,2	29600	3,38	0,0527	1900	66,4	99,6
7,0	38,5	34300	2,92	0,0455	2200	77,0	116
7,5	44,2	39400	2,54	0,0396	2530	88,4	133
8,0	50,3	44800	2,23	0,0348	2870	101	151
8,5	56,7	50600	1,97	0,0309	3240	113	170
9,0	63,6	56700	1,76	0,0275	3640	127	191
9,5	70,9	63200	1,58	0,0247	4050	142	213
10,0	78,5	70900	1,43	0,0223	4480	157	236

руют. В нижеприводимых таблицах указаны средние значения этих величин, причем надо иметь в виду, что отклонения в ту или иную сторону могут быть весьма значительны — до 50% (считая для толщины изоляции и для увеличения в весе, вносимого изоляцией).

Число витков на 1 см показано теоретическое, т. е. в соответствующей графе таблиц приведены числа, вычисленные делением 10 мм на диаметр провода в изоляции, указанный в гр. 3. Это число витков на единицу длины может немного колебаться в зависимости от плотности прилегания соседних витков.

Накидка в весе взята средней из несколько отличающихся друг от друга данных, помещенных в различных справочных статьях и книгах.

При укладке проводов в несколько слоев максимальная плотность укладки получается, если каждый слой мотается виток к витку и витки каждого следующего слоя ложатся в углубления между соседними витками предыдущего слоя. В этом случае следует помнить, что теоретически максимальное число витков, возможных в укладке в данном сечении (положим, при заполнении окна трансформаторного сердечника), определяется тем, что на каждый виток придется площадь, равная $0,87 d^2$, где d — диаметр укладываемого провода в изоляции.

В таблице эмалированного провода указаны допустимые нагрузки провода током, вычисленные из расчета плотности тока в $1,5 \text{ мм}^2$. Эта пониженная норма плотности тока не является обязательной, но введена в отличие от обычной нормы в 2 а/мм^2 из тех соображений, что очень тонкий слой изоляции эмалированного провода допускает очень компактную намотку, и следовательно, в том же объеме катушки сосредоточивают большую длину провода и большое количество выделяемого в проводе тепла.

Допустимая нагрузка провода током при плотности тока 1 а/мм^2 численно равна сечению провода, выраженному в миллиметрах. Поэтому для плотности тока 1 а/мм^2 следует использовать цифры гр. 2 табл. 4.5.

Устойчивой рабочей температурой для основных видов изоляции следует считать 100° (для шелка, бумаги, эмали и хлопчатобумажной пряжи).

Пробойные напряжения для основных видов изоляций

Таблица 4. 6

хлопчатобумажная пряжа	3 000 в/мм
шелк	4 000 »
бумага	19 000 »
эмаль	23 600 »

Грубо ориентировочные данные для учета величин сопротивлений различных видов изоляции можно брать из табл. 4. 7.

В таблице указаны величины сопротивления изоляции в мегомах на 1 м. длины провода при толщине изоляции в 0,1 мм.

В порядке возрастания толщины изоляции различные виды изоляции для тонких проводов располагаются (ОСТ 4123) следующим образом:

Таблица 4. 7

1) эмаль	0,025 мм на сторону (толщина слоя изоляции)
2) шелк, одна обмотка, ПШО	0,030 » » » » » »
3) эмаль и один слой шелка, ПЭШО	0,055 » » » » » »
4) тонкая хл.-бум. пряжа, ПБО	0,055 » » » » » »

5) шелк, две обмотки, ПШД	0,06 мм на сторону (толщина слоя изоляции)					
6) эмаль и один слой тонкой пряжи, ПЭБО	0,08	»	»	»	»	»
7) норм. хл.-бум. пряжа, ПБО	0,08	»	»	»	»	»
8) эмаль и два слоя шелка, ПЭШД	0,085	»	»	»	»	»
9) тонкая хл.-бум. пряжа, ПБД	0,10	»	»	»	»	»
10) норм. хл.-бум. пряжа, ПБД	0,125	»	»	»	»	»
11) эмаль и тонкая хл.-бум. пряжа, ПЭБД	0,13	»	»	»	»	»
12) эмаль и норм. хл.-бум. пряжа, ПЭБД	0,14	»	»	»	»	»
13) норм. хл.-бум. пряжа, ПБТ	0,20	»	»	»	»	»

Таблица 4.8

Род изоляции	При 165° Ц и 6% относит. влажности	При 75° Ц и 85% относит. влажности
Хл.-бум. пряжа, ПБО	10 000	100
Хл.-бум. пряжа, ПБД	5 000	70
Шелковая пряжа, ПШО	50 000	300
Эмаль и хл.-бум. пряжа, ПЭБО	10 000	3 000
Эмаль и шелк, ПЭШО	70 000	18 000

Тот же общесоюзный стандарт ОСТ 4123 указывает следующую толщину изоляции и допуски:

Таблица 4.9

Марка	Диаметр голой меди в мм	Толщина изоляции на обе стороны в мм	Допуск на толщину изоляции на обе стороны ± мм
ПБО	от 0,10 до 0,25	0,09	0,01
ПБО	» 0,27 » 1,04	0,11	0,01
ПБО	» 1,08 » 2,02	0,16	0,15
ПБО	» 2,10 » 3,80	0,25	0,20
ПБД	» 0,51 » 1,04	0,20	0,02
ПБД	» 1,08 » 2,02	0,25	0,02
ПБД	» 2,10 » 3,80	0,30	0,03
ПШО	» 0,10 » 1,50	0,06	0,005
ПШД	» 0,10 » 1,50	0,12	0,01

Эмалированный провод (по данным ОСТ и завода «Электропровод»)

Диаметр без изоляции в мм	Сечение в мм ²	Диаметр с изоляцией в мм	Число витков на 1 см	Накидка на изоляцию в % к весу меди	диализир в г/от	Вес 1 000 м в изоляции в г	Длина на 1 кг в м	Нагрузка на расчет 1,5 в/мм ² в а
0,05	0,00196	0,06	167	4,6	1,20	18,3	54 700	0,0029
0,06	0,00283	0,07	143	3,6	1,17	26,1	38 300	0,00425
0,07	0,00385	0,08	125	3,2	1,14	35,4	28 200	0,0058
0,08	0,00503	0,09	111	2,7	1,125	46,0	21 700	0,0075
0,09	0,00636	0,10	100	2,5	1,113	58,1	17 200	0,0095
0,10	0,00785	0,115	87	3,3	1,15	72,3	13 800	0,0118
0,11	0,00950	0,125	80	2,9	1,145	87,5	11 400	0,0142
0,12	0,0113	0,135	74,1	2,7	1,125	103,5	9 660	0,0169
0,13	0,0133	0,145	69,0	2,5	1,116	121,0	8 260	0,0200
0,14	0,0154	0,155	64,5	накидка на вес меди около 2%	1,107	140	7 140	0,023
0,15	0,0177	0,165	60,6		1,100	159	6 290	0,0265
0,16	0,0201	0,175	57,2		1,094	183	5 460	0,0301
0,17	0,0227	0,185	54,0		1,09	206	4 860	0,0340
0,18	0,0255	0,195	51,3		1,083	231	4 330	0,038
0,19	0,0284	0,205	48,8		1,08	257	3 890	0,043
0,20	0,0314	0,220	45,5		1,10	286	3 500	0,047
0,21	0,0346	0,230	43,5		1,095	315	3 180	0,052
0,23	0,0416	0,250	40,0		1,087	377	2 650	0,062
0,25	0,0491	0,270	37,1		1,080	434	2 305	0,074
0,27	0,0573	0,295	33,9	накидка на вес меди около 2%	1,093	520	1 925	0,086
0,29	0,0661	0,315	31,8		1,086	600	1 667	0,099
0,31	0,0755	0,340	29,4		1,097	687	1 455	0,113
0,33	0,0855	0,360	27,8		1,092	777	1 287	0,128
0,35	0,0962	0,380	26,3		1,087	873	1 145	0,144
0,38	0,113	0,410	24,4		1,079	1 028	972	0,169
0,41	0,132	0,445	22,5		1,085	1 200	834	0,198
0,44	0,152	0,475	21,1		1,080	1 380	725	0,228
0,47	0,173	0,505	20,2		1,075	1 570	637	0,259
0,49	0,189	0,525	19,0		1,071	1 710	585	0,283
0,51	0,204	0,55	18,2	примерно 1%	1,079	1 850	541	0,312
0,53	0,221	0,57	17,55		1,076	2 000	500	0,332
0,55	0,238	0,59	16,95		1,073	2 150	465	0,357
0,57	0,255	0,61	16,40		1,071	2 310	433	0,382
0,59	0,273	0,63	15,88		1,068	2 470	405	0,410
0,62	0,302	0,66	15,15		1,065	2 730	366	0,456

Диаметр бсл изоляции в мм	Сечение в мм ²	Диаметр с изоляцией в мм	Число витков на 1 см	Накидка на изоляцию в % к весу меди	$\frac{d_{изол}}{d_{гол}}$	Вес в 1 000 м в изоляции в г	Длина 1 кг в м	Нагрузка на расчет 1,5 н/мм ² в м
0,64	0,322	0,68	14,70	примерно 1%	1,062	2 910	344	0,483
0,67	0,353	0,71	14,09		1,060	3 180	314	0,520
0,69	0,374	0,73	13,70		1,058	3 420	292	0,561
0,72	0,407	0,76	13,15		1,056	3 770	265	0,610
0,74	0,430	0,79	12,65		1,055	3 890	243	0,645
0,77	0,466	0,82	12,20		1,065	4 210	237,5	0,70
0,80	0,503	0,85	11,76		1,063	4 490	223	0,75
0,83	0,541	0,88	11,36		1,060	4 880	205	0,81
0,86	0,581	0,91	11,00		1,058	5 240	191	0,87
0,90	0,636	0,95	10,53		1,056	5 620	177,6	0,95
0,93	0,679	0,98	10,20		1,054	6 120	163,4	1,02
0,96	0,724	1,01	9,90		1,053	6 520	153,4	1,09
1,00	0,785	1,05	9,52	примерно 0,5%	1,051	7 070	141,5	1,18
1,04	0,850	1,09	9,18		1,048	7 650	130,7	1,28
1,08	0,916	1,14	8,77		1,056	8 260	121,1	1,37
1,12	0,985	1,18	8,47		1,054	8 880	112,7	1,48
1,16	1,057	1,22	8,20		1,052	9 220	109,7	1,59
1,20	1,13	1,26	7,94		1,050	10 220	97,8	1,70
1,25	1,21	1,31	7,64		1,048	11 050	90,5	1,81
1,30	1,33	1,36	7,35		1,046	11 940	83,8	2,00
1,35	1,43	1,41	7,09		1,044	12 870	77,7	2,14
1,40	1,54	1,46	6,85		1,043	13 840	72,3	2,31
1,45	1,65	1,51	6,62		1,042	14 850	67,3	2,47
1,50	1,77	1,56	6,41		1,040	15 880	63,0	2,65
1,56	1,91	1,61	6,21		1,039	17 200	58,2	2,86
1,62	2,06	1,68	5,95		1,037	18 450	54,2	3,09
1,68	2,22	1,74	5,75		1,036	19 900	50,2	3,33
1,74	2,38	1,80	5,56		1,035	21 300	47,0	3,57
1,81	2,57	1,87	5,35		1,033	23 100	43,3	3,85
1,88	2,78	1,94	5,16		1,032	24 900	40,2	4,17
1,95	2,99	2,01	4,98		1,031	26 800	37,3	4,49
2,02	3,20	2,08	4,81		1,030	28 700	34,8	4,80
2,10	3,46	2,16	4,63		1,028	31 100	32,2	5,19
2,26	4,01	2,32	4,31		1,026	35 900	27,9	6,0
2,44	4,68	2,50	4,00		1,025	41 900	23,9	7,0

ПШО (по ОСТ 4123)

Диаметр по меди в мм	Диаметр по шелку в мм	Число витков на 1 см	Вес 100 м в г	Длина на 1 кг в м	Накидка на изоляция в % к весу меди
0,05	0,11	91	2,79	35 900	60
0,07	0,13	77	4,55	22 000	33
0,09	0,15	67	6,92	14 500	23
0,10	0,16	62,5	8,31	12 000	19
0,12	0,18	55,5	11,5	8 700	15
0,13	0,19	52,5	13,4	7 470	13
0,15	0,21	47,5	17,3	5 780	10,5
0,17	0,23	48,5	22,4	4 460	8,5
0,20	0,26	38,5	30,0	3 330	7,4
0,22	0,28	35,5	37,4	2 670	10,5
0,25	0,31	32,0	47,6	2 100	9,0
0,27	0,33	30,0	54,8	1 830	7,7
0,29	0,35	28,5	62,8	1 590	7,0
0,31	0,37	27,0	71,4	1 400	6,4
0,33	0,39	25,5	80,7	1 240	6,2
0,35	0,41	24,5	90,4	1 110	5,8
0,38	0,44	22,7	106	914	5,2
0,41	0,47	21,3	123	813	4,8
0,44	0,50	20,0	141	710	4,6
0,47	0,53	18,9	161	621	4,3
0,49	0,55	18,2	174	575	4,1
0,51	0,57	17,5	189	529	4,0
0,53	0,59	17,0	204	490	3,8
0,55	0,61	16,4	220	455	3,6
0,57	0,63	15,9	235	425	3,5
0,59	0,65	15,4	251	398	3,4
0,62	0,68	14,7	277	361	3,2
0,64	0,70	14,3	295	339	3,1
0,67	0,73	13,7	323	310	3,0
0,69	0,75	13,3	342	292	2,9
0,72	0,78	12,8	372	269	2,7

ПШД (по ОСТ 4123)

Диаметр по меди в мм	Диаметр по пилку в мм	Число витков на 1 см	Вес 100 м в г	Длина на 1 кг в м	Плавидна на изолацию в % к весу меди
0,05	0,17	59	3,15	31 800	138
0,07	0,19	52,5	4,99	20 000	75
0,09	0,21	47,5	8,41	11 900	49
0,10	0,22	45,5	9,83	10 200	41
0,12	0,24	41,5	13,1	7 640	30,5
0,13	0,25	40,0	15,0	6 670	27
0,15	0,27	37,0	19,1	5 240	21,5
0,17	0,29	34,5	23,8	4 200	18
0,20	0,32	31,3	31,9	3 180	17,3
0,21	0,33	30,3	38,1	2 630	15,7
0,22	0,34	29,4	39,1	2 560	13,0
0,23	0,35	28,6	41,4	2 420	22,0
0,25	0,37	27,0	49,1	2 040	13,0
0,27	0,39	25,6	59,3	1 690	16,5
0,29	0,41	24,4	67,6	1 480	15,0
0,31	0,43	23,3	76,3	1 310	13,8
0,33	0,45	22,2	86,0	1 160	13,2
0,35	0,47	21,3	96,0	1 040	12,3
0,38	0,50	20,2	112	893	11,1
0,41	0,53	18,8	129	775	10,1
0,44	0,56	17,8	149	671	9,9
0,47	0,59	17,0	168	596	9,2
0,49	0,61	16,4	183	546	8,7
0,51	0,63	15,9	196	510	8,3
0,53	0,65	15,4	212	472	8,0
0,55	0,67	14,9	227	440	7,6
0,57	0,69	14,5	244	410	7,4
0,59	0,71	14,1	260	385	7,1
0,62	0,74	13,5	286	350	6,7
0,64	0,76	13,2	302	335	6,5
0,67	0,79	12,7	333	300	6,2
0,69	0,81	12,3	352	284	6,0
0,72	0,84	11,9	383	264	5,8

ПБ0

Диаметр по меди в мм	диаметр по припке в мм	Число витков на 1 см	Вес 100 м в г	Длина на 1 кг в м	Накидка на изоляцию в % к весу меди
0,21	0,30	33,3	35,6	2 810	15,1
0,23	0,32	31,3	41,9	2 300	13,2
0,25	0,34	29,4	48,9	2 040	11,9
0,27	0,38	26,3	57,7	1 730	13,1
0,29	0,40	25,0	66,0	1 510	12,0
0,31	0,42	23,8	74,6	1 340	9,2
0,33	0,44	22,7	84,4	1 190	7,6
0,35	0,46	21,7	94,3	1 060	10,0
0,38	0,49	20,4	110	910	9,0
0,41	0,52	19,2	127	788	8,3
0,44	0,55	18,2	146	685	7,6
0,47	0,58	17,2	165	606	6,9
0,49	0,60	16,7	179	559	6,7
0,51	0,62	16,1	194	516	6,3
0,53	0,64	15,6	209	479	6,4
0,55	0,66	15,2	225	445	6,1
0,57	0,68	14,7	241	415	5,9
0,59	0,70	14,3	257	389	5,6
0,62	0,73	13,7	284	352	5,4
0,64	0,75	13,3	302	331	5,1
0,67	0,78	12,8	330	303	4,9
0,69	0,80	12,5	354	282	4,6
0,72	0,83	12,0	379	264	4,5
0,74	0,85	11,7	400	250	4,4
0,77	0,88	11,3	433	231	4,2
0,80	0,91	11,0	461	217	4,1
0,83	0,94	10,6	499	200	3,5
0,86	0,97	10,3	535	187	3,35
0,90	1,01	9,9	585	171	3,2
0,93	1,04	9,6	624	160	3,1
0,96	1,07	9,3	664	151	2,9
1,00	1,11	9,0	720	139	2,8
1,04	1,15	8,7	777	129	2,7

ПБД

Диаметр по меди в мм	Диаметр по пряде в мм	Число витков на 1 см	Вес 100 м в г	Длина на 1 кв в м	Намотка на изоляцию в % к весу меди	Диаметр по меди в мм	Диаметр по пряде в мм	Число витков на 1 см	Вес 100 м в г	Длина на 1 кв в м	Намотка на изоляцию в % к весу меди
0,10	0,28	35,7	15,3	6 540	120	0,80	1,00	10,0	478	209	8,0
0,12	0,30	33,3	18,8	5 320	86	0,83	1,03	9,7	514	195	6,5
0,13	0,31	32,3	20,7	4 830	75	0,86	1,06	9,4	550	182	6,2
0,15	0,33	30,3	24,9	4 020	60	0,90	1,10	9,0	590	170	6,0
0,17	0,35	28,6	30,1	3 320	49	0,93	1,13	8,8	540	156	5,7
0,20	0,38	26,3	38,8	2 580	39	0,96	1,16	8,6	681	147	5,5
0,22	0,40	25,0	45,1	2 220	33	1,00	1,20	3,0	737	136	5,3
0,25	0,43	23,3	55,9	1 790	28	1,04	1,24	8,0	796	126	5,0
0,29	0,49	20,4	74,9	1 335	27	1,08	1,33	7,5	858	117	5,1
0,31	0,51	19,6	83,8	1 190	24,5	1,12	1,37	7,3	921	108,5	4,9
0,33	0,53	18,9	93,4	1 070	22,5	1,16	1,41	7,1	986	101,5	4,7
0,35	0,55	18,2	103,6	965	21,0	1,20	1,45	6,9	1 054	94,8	4,5
0,38	0,58	17,2	120	833	18,7	1,25	1,50	6,7	1 150	87,0	5,0
0,41	0,61	16,4	137	730	16,7	1,30	1,55	6,5	1 240	80,7	4,7
0,44	0,64	15,6	156	641	15,3	1,35	1,60	6,3	1 330	75,2	4,6
0,47	0,67	14,9	176	568	14,1	1,40	1,65	6,1	1 430	70,0	4,4
0,49	0,69	14,5	191	523	13,4	1,45	1,70	5,9	1 530	65,4	4,3
0,51	0,71	14,1	207	483	13,5	1,50	1,75	5,7	1 640	61,0	4,1
0,53	0,73	13,7	222	450	12,9	1,56	1,81	5,5	1 770	56,5	4,0
0,55	0,75	13,3	238	420	12,3	1,62	1,87	5,35	1 910	52,3	3,8
0,57	0,77	13,0	254	394	11,7	1,68	1,93	5,2	2 050	48,8	3,6
0,59	0,79	12,7	271	369	11,2	1,74	1,99	5,0	2 190	45,7	3,5
0,62	0,82	12,2	298	336	10,7	2,10	2,40	4,17	3 240	30,9	5,0
0,64	0,84	11,9	317	315	10,3	2,26	2,56	3,9	3 740	26,7	4,6
0,67	0,87	11,5	345	290	9,7	2,44	2,74	3,65	4 340	23,0	4,2
0,69	0,89	11,2	370	270	9,2	2,63	2,93	3,4	5 020	19,9	3,9
0,72	0,92	10,9	395	253	9,0	2,83	3,13	3,2	5 820	17,2	3,8
0,74	0,94	10,6	417	240	8,8	3,05	3,35	3,0	6 740	14,8	3,5
0,77	0,97	10,3	450	222	8,3						

Диаметр по меди в мм	ПЭШО			ПЭШД		
	Пределы возможных отклонений диаметра провода с изоляцией в мм		Пробив- ное на- пряжение в в	Пределы возможных отклонений диаметра провода с изоляцией в мм		Пробив- ное на- пряжение в в
	наимень- ший предел	наиболь- ший предел		наимень- ший предел	наиболь- ший предел	
0,03	0,065	0,095	350	0,106	0,135	400
0,04	0,075	0,105	350	0,115	0,145	400
0,05	0,085	0,115	350	0,125	0,155	400
0,06	0,100	0,125	400	0,140	0,165	450
0,07	0,110	0,135	400	0,150	0,175	450
0,08	0,120	0,145	400	0,160	0,185	450
0,09	0,130	0,155	400	0,170	0,195	450
0,10	0,140	0,165	400	0,180	0,205	450
0,11	0,150	0,185	400	0,190	0,225	450
0,12	0,160	0,195	400	0,200	0,235	450
0,13	0,170	0,205	400	0,210	0,245	450
0,14	0,180	0,215	400	0,220	0,255	450
0,15	0,190	0,225	400	0,230	0,265	450
0,16	0,200	0,235	400	0,240	0,275	450
0,17	0,210	0,245	400	0,250	0,285	450
0,18	0,220	0,255	400	0,260	0,295	450
0,19	0,230	0,265	400	0,270	0,305	450
0,20	0,240	0,275	400	0,280	0,315	450
0,21	0,270	0,305	400	0,335	0,370	450
0,22	0,280	0,315	400	0,345	0,380	450
0,23	0,290	0,325	400	0,355	0,390	450
0,24	0,300	0,335	400	0,365	0,400	450
0,25	0,310	0,345	400	0,375	0,410	450
0,26	0,320	0,360	400	0,385	0,425	450
0,27	0,330	0,370	400	0,395	0,435	450
0,28	0,340	0,380	400	0,405	0,445	450

Диаметр по меди в мм	ПЭШО			ПЭШД		
	Пределы возможных отклонений диаметра провода с изоляцией в мм		Пробив- ное на- пряжен.	Пределы возможных отклонений диаметра провода с изоляцией в мм		Пробив- ное на- пряжен.
	наимень- ший предел	наиболь- ший предел		наимень- ший предел	наиболь- ший предел	
0,29	0,350	0,390	400	0,415	0,455	450
0,30	0,365	0,405	400	0,430	0,470	450
0,31	0,375	0,415	400	0,440	0,480	450
0,32	0,385	0,425	400	0,450	0,490	450
0,33	0,395	0,435	400	0,460	0,500	450
0,34	0,405	0,445	400	0,470	0,510	450
0,35	0,415	0,460	400	0,480	0,525	450
0,36	0,425	0,470	400	0,490	0,535	450
0,37	0,435	0,480	400	0,500	0,545	450
0,38	0,445	0,490	400	0,510	0,555	450
0,39	0,455	0,500	400	0,520	0,565	450
0,40	0,465	0,515	400	0,530	0,580	450
0,42	0,485	0,535	550	0,550	0,600	600
0,45	0,515	0,565	550	0,580	0,630	600
0,48	0,545	0,590	550	0,610	0,660	600
0,50	0,570	0,620	550	0,635	0,685	600
0,55	0,620	0,670	550	0,685	0,735	600
0,60	0,670	0,720	550	0,735	0,785	600
0,65	0,720	0,770	550	0,785	0,835	600
0,70	0,775	0,835	550	0,840	0,900	600
0,75	0,825	0,885	550	0,890	0,950	600
0,80	0,875	0,935	550	0,940	1,000	600
0,85	0,925	0,985	550	0,990	1,050	600
0,90	0,975	1,035	550	1,040	1,100	600
0,95	1,025	1,085	550	1,090	1,150	600
1,00	1,075	1,135	550	1,140	1,200	600

Число витков, приходящихся на 1 см² сечения плотной намотки

Диаметр по меди в мм	Сечение в мм	Число витков, приходящихся на 1 см ² сечения катушки				
		ПЭ	ПНО	ПВД	ПБО	ПБД
0,05	0,00196	18 000	10 000	5 300	—	—
0,06	0,00283	12 600	8 200	4 600	—	—
0,07	0,00385	10 000	6 800	4 000	—	—
0,08	0,00503	8 200	5 700	3 520	—	—
0,1	0,00785	5 700	4 250	2 800	2 070	—
0,12	0,01131	4 000	3 320	2 280	1 720	—
0,14	0,0154	3 130	2 650	1 900	1 470	—
0,15	0,0177	2 800	2 400	1 720	1 360	—
0,16	0,0201	2 500	2 170	1 600	1 260	—
0,18	0,0254	2 070	1 800	1 360	1 100	—
0,2	0,0314	1 720	1 530	1 180	940	665
0,22	0,0380	1 400	1 260	1 020	835	595
0,25	0,0491	1 140	1 020	835	700	515
0,3	0,0707	810	740	630	540	413
0,35	0,0962	595	567	493	395	292
0,4	0,1257	470	450	395	325	245
0,5	0,1964	308	302	274	231	182
0,6	0,283	217	217	194	172	134
0,7	0,385	164	164	148	134	108
0,8	0,503	125	128	117	108	88
0,9	0,631	101	103	95	88,5	73,5
1,0	0,785	83	85	79	73,5	62,5
1,1	0,95	69	70	64	62,5	53,5
1,2	1,13	58,5	59,5	55	53,5	46,5
1,3	1,33	50,5	51	48	46,5	41
1,4	1,54	44,5	45	42	41	36
1,5	1,77	39	39,5	37	36	32,2
1,6	2,01	—	—	—	31,3	27,8
1,7	2,27	—	—	—	28	25
1,8	2,54	—	—	—	25,3	22,8
1,9	2,84	—	—	—	23	20,8
2,0	3,14	—	—	—	21	19

Число омов в каждом куб. сантиметре непрерывной намотки

Диаметр по меди в мм	Сопротивление, приходящееся на 1 см ³ объема катушки в ом				
	НЗ	ННО	ННД	НБО	НБД
0,05	1 640	910	482	—	—
0,06	795	517	290	—	—
0,07	464	315	185,5	—	—
0,08	291	202,5	125	—	—
0,1	129,7	96,7	63,7	47,1	—
0,12	63,2	52,5	36	27,15	—
0,14	36,3	30,7	22,05	17,05	—
0,15	28,3	24,25	17,4	13,7	—
0,16	22,2	19,3	14,2	11,2	—
0,18	14,56	12,65	9,55	7,73	—
0,2	9,76	8,68	6,7	5,34	3,78
0,22	6,58	5,93	4,81	3,92	2,795
0,25	4,15	3,71	3,04	2,55	1,874
0,3	2,045	1,87	1,59	1,36	1,043
0,35	1,107	1,054	0,916	0,73	0,543
0,4	0,668	0,64	0,561	0,462	0,348
0,5	0,28	0,275	0,249	0,21	0,1655
0,6	0,137	0,137	0,1224	0,1085	0,0845
0,7	0,076	0,076	0,0685	0,062	0,5
0,8	0,044	0,0454	0,0415	0,0383	0,0312
0,9	0,0284	0,0289	0,0267	0,0247	0,0206
1,0	0,0189	0,0193	0,018	0,0167	0,0142
1,1	0,013	0,0132	0,012	0,0118	0,01005
1,2	0,00924	0,0094	0,00869	0,00845	0,00735
1,3	0,00678	0,00685	0,00645	0,00625	0,00551
1,4	0,00516	0,00522	0,00487	0,00475	0,00418
1,5	0,00394	0,00398	0,00374	0,00364	0,00325
1,6	—	—	—	0,00278	0,00247
1,7	—	—	—	0,0022	0,00197
1,8	—	—	—	0,00178	0,0016
1,9	—	—	—	0,00145	0,00131
2,0	—	—	—	0,00119	0,00108

НАГРУЗКИ ДЛЯ ОБМОТОК ИЗ МЕДНОГО ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА

Величина допустимого тока нагрузки определяется в большинстве случаев допустимым повышением температуры прибора (трансформатора, катушки, мотора и пр.) над окружающей температурой или вообще определенной наивысшей допустимой температурой. Для приборов, рассчитанных на длительную непрерывную нагрузку, в расчет берется только окончательно установившаяся температура. Для приборов, работающих с перерывами (звонок, подъемник), учитывается скачкообразное повышение температуры. Норма нагрузки в этом случае берется выше. Для распределительных сетей максимальная допустимая нагрузка часто определяется не нагревом провода, а допустимым падением напряжения.

В радиотехнике чаще всего приходится иметь дело с проводом, намотанным в катушки, имеющие воздушный или железный сердечник (трансформаторы, катушки индуктивности, дроссели и т. п.). Приводим соответствующие величины.

В трансформаторах, имеющих железный сердечник, повышение температуры может происходить за счет нагревания сердечника от намагничивания. Обычно трансформаторы рассчитываются таким образом, что нагревание провода обмоток до максимальной допустимой температуры происходит раньше, чем нагрев сердечника (максимальное использование меди).

Повышение температуры удобнее всего определять или специальной термометрией с милливольтметром, или просто измерением сопротивления обмотки по приближенной формуле:

$$T = 250 \frac{R_T - R_0}{R_0},$$

где T — повышение температуры провода над температурой окружающей среды в градусах Цельсия,

R_T — сопротивление нагретого провода (измеренного после соответствующего времени нагрева).

R_0 — сопротивление нагретого провода (измеренного при температуре окружающей среды до работы прибора).

Вышеприведенная формула выведена из стандартной формулы для нормальной проводниковой меди:

$$R_T = R_{20}[1 + 0.004 (T - 20)],$$

где R_T — сопротивление при повышении температуры (в градусах Цельсия) над окружающей температурой, за R_0 в приближенной формуле принято сопротивление при окружающей температуре (до нагрева) вместо вполне определенной, а именно 20° .

Если измерение температуры начинается не от 20° , то приращение температуры более точно определяется по формуле:

$$T_2 - T_1 = \frac{R_{T_2} - R_{T_1}}{R_{T_1}} (230 + T_1),$$

где T_1 — начальная температура,

T_2 — конечная температура,

R_{T_1} — сопротивление при начальной температуре,

R_{T_2} — сопротивление при конечной температуре.

Указанными формулами с достаточной для практики точностью можно пользоваться для температур от 0 до 100°. Проводниковая медь при длине в 1 км и поперечном сечении 1 мм² при 20° имеет 17,5 ом.

Для быстрых подсчетов в табл. 4.3 (стр. 120) даны готовые значения изменения сопротивления медного провода и соответствующего ему изменения температуры данного провода. За исходную точку принимается сопротивление провода при 20°, по отношению к которому и вычислены по стандартной формуле изменения сопротивлений.

Выделение тепла в данном проводе зависит прежде всего от силы тока, проходящего по заданному проводу. Количество выделяемого в проводе тепла за 1 секунду можно определить по формуле:

$$Q = 0,24 P = 0,24 I^2 R = 0,24 \frac{U^2}{R} = 0,24 U I \text{ м. кал.}$$

Повышение же температуры проводника зависит в основном от его охлаждения. Допустимая величина тока тем больше, чем толще провод, однако допустимый ток увеличивается несколько медленнее, чем сечение, так как чем толще провод, тем хуже он охлаждается (считая, конечно, на единицу объема провода).

Таблица 4.18

Нормы наивысших допустимых температур в трансформаторах

	Допустимое повышение температуры в °Ц	Допустимая наивысшая температура в °Ц
Для обмоток с непропитанной хлопчатобумажной изоляцией в воздухе	50	85
Для обмоток с пропитанной хлопчатобумажной изоляцией в воздухе	60	95
Для обмоток с бумажной изоляцией в воздухе	60	95
Для обмоток с хлопчатобумажной или бумажной изоляцией в масле	70	105
Для обмоток с изоляцией из эмали, асбеста, слюды и пр.	80	115

Условия охлаждения в разных системах намотки, распределения обмоток, толщины изоляции, допустимых температурных повышений, движения воздуха и прочих условий весьма разнятся в отдельных случаях. Поэтому твердых норм максимальных нагрузок для проводов данных сечений не может быть. Существуют некоторые средние величины допустимых токов, которые в зависимости от данных условий могут изменяться до 50 и даже до 100%.

Легче всего дать твердые нормы для неподвижных проводов воздушной проводки, находящихся в обычных условиях охлаждения (при температуре окружающего воздуха, не превышающей 30°). Однако выбор сечения в этом случае может определяться не столько допустимой (в смысле нагрева про-

вода) силой тока, сколько допустимым падением напряжения, равным $I \cdot R$ сети. Наибольшие допустимые токи в проводах воздушной проводки соответствуют падению напряжения от 0,5 в (для толстых проводов) и до 3,0 в (для малых сечений) на каждые 10 м двойной проводки (на 20 м одиночного провода). Плотности тока при этом колеблются от 1,5 а/мм² сечения для толстых проводов до 15а/мм² для самого тонкого комнатного шнура. При одном и том же допустимом повышении температуры плотности тока обратно пропорциональны квадратным корням из диаметров:

$$\frac{I_1}{I_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}},$$

или, иначе, квадраты максимально допускаемых токов относятся как кубы диаметров:

$$\frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}.$$

В табл. 4. 20 (стр. 146) даны нормы для наибольших сил тока, допускаемых в воздушных проводах при обычных условиях охлаждения (температура окружающей среды не выше 30°).

$$\text{Средняя норма нагрузки} = 2 \frac{a}{\text{мм}^2 \text{ сечения провода}}$$

Это норма, которая чаще всего применяется для маломощных силовых трансформаторов, дросселей и различных катушек (кроме эталонных). Плотность тока в 2а/мм² обычно гарантирует трансформатор или дроссель от чрезмерного повышения температуры при прочих нормальных условиях: достаточное количество и хорошее качество железа в сердечнике, открытый поверхность сердечника и катушек. Для проводов малого сечения с толстой изоляцией или в случае хорошей вентиляции прибора норма может быть повышена до 1½ раза. При очень плотной намотке, толстом проводе, очень тонкой изоляции, затрудненной вентиляции норма должна быть уменьшена до 1½ раза и в особо тяжелых случаях — до 1 а на каждый кв. миллиметр сечения. При расчетах трансформаторов и дросселей можно исходить из того, чтобы на каждый ватт потерь, затрачиваемый в самом приборе, приходилось 15 см² общей поверхности прибора, соприкасающейся с воздухом. Потери при этом подсчете должны включать зависящие от нагрузки мощности, расходуемые на нагревание первичной и всех имеющихся вторичных обмоток (по формулам I^2R), а также потери в железе (не зависящие от нагрузки). Если прибор рассчитан на кратковременные нагрузки с большими перерывами, плотность тока можно повышать до 5 а/мм². В основной таблице проволоки даны допустимые величины токов, подсчитанные из расчета основной нормы 2а/мм². Ниже приводим график (рис. 4. 2), дающий возможность быстро определить силу тока для провода любого диаметра при различных величинах заданных плотностей тока. Шкалы по обеим осям взяты логарифмические, что переводит зависимости в прямые линии. График удобен для сравнения допустимых величин сил тока при изменении норм плотности.

Для трансформаторных обмоток исходными цифрами плотности тока можно считать следующие (см. табл. 4. 19).

Таблица 4. 19

Мощность в вт	Плотность тока в а/мм ²
до 50	2
50— 100	1,8
100— 300	1,5
300—1000	1,3

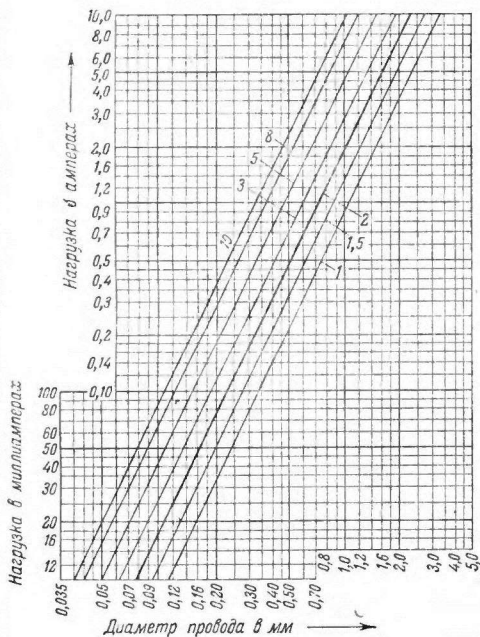


Рис. 4.2. График для расчета диаметра провода по нагрузке.

Цифры у линий обозначают расчетную плотность тока в амперах на 1 кв. мм сечения провода.

Для воздушных линий нагрузка проводов током подбирается по табл. 4. 20

Таблица 4. 20

Сечение провода в мм ²	Наибольшая допустимая сила тока в а		
	Наизоли- ванный провод	Голая провод	
		в закры- том поме- щении	на откры- том возду- хе
0,75	9	—	—
1,0	11	—	—
1,5	14	—	—
2,5	20	—	—
4	25	30	46
6	31	38	60
10	43	50	86
16	75	66	118
25	100	86	162
35	125	105	206
50	160	131	266
70	200	162	340
95	240	196	420
500	760	—	—
1000	1250	—	—

СПЛАВЫ И ПРОВОДА ДЛЯ РЕОСТАТОВ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Сплавы для эталонных и измерительных сопротивлений и для реостатов всякого рода обычно включают в свой состав, главным образом, медь, никель, цинк, железо, хром, марганец. Электрические и механические свойства сплавов зависят как от процентного соотношения тех или иных металлов, так и от способа обработки. Указать какие-либо нормы для того или иного сорта реостатного провода не представляется возможным, так как фирма, год выработки, сорт, марка очень значительно изменяют все данные, особенно столь важные для радиотехники удельное сопротивление и температурный коэффициент. Манганина, например, существует более 10 сортов, причем имеются сорта, отличающиеся друг от друга удельным сопротивлением почти в 2 раза.

Радиотехник чаще всего имеет дело с катушкой реостатного провода неизвестного сорта, марки,

завода, года выработки. Поэтому для точных работ необходимо каждую данную катушку промерять опытным путем.

В табл. 4. 21—4. 28 приведены данные отдельных сортов провода, имеющих наибольшее распространение. Эти таблицы соответствуют некоторым средним сортам и могут служить для ориентировочных расчетов и сравнительной оценки различных сплавов.

Температурный коэффициент манганина от 0 до 35° (приблизительно) имеет все уменьшающиеся значения (при 35° $\alpha = 0$), от 35° и выше температурный коэффициент делается отрицательным.

Для нагревательных приборов следует применять лучше нихром или константан. Манганин в основном используется в измерительных приборах.

В таблицах указана допустимая реостатная нагрузка из расчета плотности тока в 4 а/мм², для проводов из константана и нихрома 5 а/мм², так как эти материалы допускают большие рабочие температуры. Эта плотность тока используется в реостатах, потенциометрах, намотанных спирально и имеющих свободный и удобный доступ для воздуха. Для реостатов и потенциометров, имеющих очень компактные размеры, эту норму следует уменьшать до 2,5—3,0 а/мм². Для спиральной обмотки, висящей в воздухе, норма может быть увеличена в 2 и даже в 3 раза.

При расчете каких-либо реостатных приборов, не допускающих повышения температуры выше 100° , можно ориентировочно исходить из необходимости при тесной намотке на каркасе иметь около $1,5 \text{ см}^2$ поверхности охлаждения на каждый ватт, затрачиваемый внутри прибора. Если каркас намотки допускает значительное повышение температуры, то каждому ватту, расходуемому на нагрев, должно соответствовать $0,7 \text{ см}^2$ при реостате, намотанном из воздушных спиралей, поверхность охлаждения может быть снижена до $0,4 \text{ см}^2/\text{вт}$.

Если реостатный провод имеет изоляцию (не для нагревательных целей), то диаметр провода в изоляции, число витков, укладываемых на 1 см , и напикку на вес провода следует брать из соответствующих таблиц для медного провода.

Норму загрузки для изолированных реостатных проводов надо брать от 1 а/мм^2 сечения или даже еще ниже (в зависимости от условий охлаждения и предъявляемых требований допустимого повышения температуры).

Таблица 4.21

Сплав	Удельное сопротивление в ом-мм ² /м	Удельный вес в г/см ³	Температурный коэффициент α (от 0 до 100° Ц)	Точка плавления в $^{\circ} \text{Ц}$	Максимальная рабочая температура в $^{\circ} \text{Ц}$
Никелин	0,40	8,8	+ 0,00022	1100	200
Реоган	0,47	8,7	+ 0,00023	1100	200
Константан	0,49	8,9	— 0,000005	1206	500
Манганин	0,43	8,4	$\pm 0,00002$	910	100
Нихром	1,00	8,2	+ 0,00017	1550	1000

Торговые реостатные сплавы

Указанные в табл. 4. 23—4. 28 сплавы представлены средними (наиболее часто встречающимися) данными для этих часто применяемых групп сплавов. В зависимости от года выделки, страны изготовления, завода и номера марки (процентного содержания различных металлов и способа изготовления) основные данные реостатных сплавов (удельное сопротивление и температурный коэффициент) могут колебаться в самых широких пределах — до 200—300%. Надо считать, что на мировом рынке в настоящее время можно найти больше тысячи различных сортов реостатного провода.

Приводим алфавитный перечень и основные данные наиболее ходовых торговых сплавов, которые чаще других могут встретиться как в литературе, так и в лабораторной практике радиотехника. Если процентный состав не имеет более или менее постоянного соотношения, составляющие металлы перечислены в порядке преобладания (табл. 4. 23).

Сопrotивление металлов и сплавов сравнительно с медью

(список составлен в порядке возрастания удельных сопротивлений)

Металл или сплав	Сопrotивление по сравнению с медью	Металл или сплав	Сопrotивление по сравнению с медью
Серебро	0,9	Железо	7,7
Медь	1,0	Олово	8,5
Золото	1,4	Сталь (средн.)	12,0
Хром	1,6	Свинец	13
Алюминий	1,63	Нейзильбер	17
Магний	2,8	Никелин	25
Молибден	2,9	Манганин	26
Вольфрам	3,6	Резтан	28
Цинк	3,7	Константан	29
Латунь	4,5	Чугун	30
Платина	5,5	Ртуть	60
Кобальт	6,0	Нихром	60
Никель	6,5	Уголь (средн.)	15 000

ТОК ПЛАВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ

Теоретического расчета тока, при котором длинный проводник расплавится под действием этого тока, не имеется. Для прямолинейного провода, подвешенного в воздухе при комнатной температуре (обычные изменения температуры окружающей среды влияние на ток плавления не оказывают, так как температура плавления металлов весьма велика), получены на основании экспериментальных наблюдений простые эмпирические формулы, дающие достаточно точные результаты. Длина расплавляемого провода во избежание охлаждающего влияния концов должна быть не меньше 5—10 см (зависит от диаметра провода).

Для тонких (от 0,02 до 0,2 мм) проволочек сжигающий ток равен:

$$I_{\text{плавл}} = \frac{d - 0,005}{k},$$

где $I_{\text{плавл}}$ — сжигающий ток в амперах,

d — диаметр проводника в миллиметрах, |

k — постоянный коэффициент, зависящий от материала данного провода:

для серебра	$k = 0,031$
» меди	$k = 0,034$
» латуни	$k = 0,050$
» платины	$k = 0,053$
» никелина	$k = 0,06$
» константана	$k = 0,07$
» железа	$k = 0,127$

Диаметр провода для плавления при заданной силе тока находится по формуле $d = k \cdot I_{\text{плавл}} + 0,005$.

Данные те же, что и для предыдущей формулы.

Для более толстых проводников ток плавления можно высчитать по формуле:

$$I_{\text{плавл}} = ad^{\frac{5}{2}},$$

где $I_{\text{плавл}}$ — в амперах,

d — в миллиметрах,

Коэффициент a , зависящий от металла, равен

для меди	$a = 80,0$
» алюминия	$a = 59,2$
» никелина	$a = 40,8$
» платины	$a = 40,4$
» железа	$a = 24,6$
» олова	$a = 12,8$
» свинца	$a = 10,8$

Если задан ток плавления, то необходимый диаметр провода высчитывается по формуле:

$$d = b I_{\text{плавл}}^{\frac{2}{3}}$$

d и $I_{\text{плавл}}$ — в тех же величинах,

b берется из следующей таблицы:

для меди	$b = 0,0538$
» алюминия	$b = 0,0658$
» никелина	$b = 0,0842$
» платины	$b = 0,085$
» железа	$b = 0,118$
» олова	$b = 0,183$
» свинца	$b = 0,205$

Точность результатов зависит, конечно, в известной степени от чистоты химического состава материала или от процентного его состава (для никелина). Для быстрых справок по расчету плавких предохранителей приводим табл. 4. 29 токов плавления, высчитанную для токов от 1 до 300 a по формуле $d = d \cdot I_{\text{плавл}}^{\frac{2}{3}}$. Для малых сил плавящих токов (в первых строках таблицы) результаты будут несколько отличаться от расчета, произведенного по формуле для малых сил токов (стр. 148).

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДА ПРИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ

При переменном токе переменное магнитное поле вызывает внутри проводника вихревые токи в материале самого проводника, которые направлены навстречу производящему их току. В результате этого ток по сечению проводника распределяется неравномерно, сосредоточиваясь, главным образом, по поверхностным слоям проводника. Эффективное действующее сопротивление проводника увеличивается, так как весь ток в результате указанного выше неравномерного распределения плотности тока по сечению (так называемого скин-эффекта) вынужден проходить лишь по некоторой части площади сечения.

Торговые реостатные сплавы

Сплав	Удельное сопротивление ρ в ом-мм ² /м	Температурный коэффициент α на 1° Ц	Температура плавления в °Ц	Состав сплава (цифры указывают проценты)
Аванс	0,48	0,00001—0,00002	1 190	Cu 54, Ni 44, Fe 0,45
Аномель	0,33	0,0012	—	Ni 97, Mn 2,5, Fe 0,5
Вуда металл	0,52	0,0029	123	Bi 56, Cd 17, Pb 14, Sn 13 Cu (40—60), Ni (18—30), Zn (15/25)
Германское серебро	0,17—0,41	0,00004	1 100	Cu, Ni, Fe (различные соотношения)
Иа-иа	0,47—0,51	—0,00004	1 190	Cu 55, Ni 45
Иделл	0,49	0,000005	1 150	Ni 36, Fe, Mn,
Инвар	0,75	0,002	—	Ni, Fe, Cr, Mn,
Калидо	1,1	0,00012	1 500	Ni 25, Fe 75,
Клайменс	0,87	0,00037	1 250	Fe, Ni, Cr
Комет	0,96	0,00034	—	Cu 60, Ni 40
Константан	0,47—0,51	—(0,00004—0,00001)	1 200	—
Крупна металл	0,85	0,0007	—	Fe 72, Ni 28
Крупин	0,83—0,85	0,0007—0,0013	—	Cu, Zn, Pb
Латунь	0,05—0,07	0,0014—0,002	—	Cu, Mn, Ni
Манганин	0,34—1,00	—0,00003 до + 0,00002	910	—
Мельхиор (см. германское серебро)	—	—	—	—

Монель	0,42—0,45	0,00002—0,0002	1 300	Cu 27,6, Ni 68,1, Fe 2,4
Нейзильбер (см. германское серебро)	—	—	—	Cu 55, Ni 18, Zn 27,
Никелевое серебро 18%	0,30—0,33	0,0003	1 100	Cu 55, Ni 25, Zn 20, Fe 0,6
Никелин	0,27—0,45	0,00002—0,00034	1 100	Ni, Cr, Fe, Mn,
Нихром (никель-хром)	0,90—1,10	0,0004 —0,00003	1 550	Fe 52, Ni 48,
Платинит	0,45	0,0003	—	Cu, Ni, Zn,
Платиноид	0,34—0,41	0,00032—0,00025	—	Ni, Fe,
Резиста	0,76	0,001	—	Cu 52, Ni 48,
Реоэстатин	0,48	0,00025—0,00001	—	Ni, Fe,
Реоэстен	0,77	0,0012	—	Cu 53, Ni 25, Zn 17, Fe 5
Реоэтан	0,48—0,52	0,00024—0,0041	1 100	—
Суперниор	0,81—0,87	0,0008—0,001	1 250	Cu 85, Mn 13, Al 12,
Терло	0,47	0,00001	—	Ni 80, Cr 20,
Хромакс	0,98—1,03	0,00048	—	Ni 80, Cr 20
Хромель	0,70—1,10	0,00011—0,00054	—	—
Эврика (см. константан)	—	—	—	—
Экстраприма	0,20	—	—	—
Эксцелло	0,92	0,00016	1 500	Ni 85, Cr 14, Fe 0,5, Mn 0,5
Эксцельсьюр I	0,86	0,0007	—	Cu 53, Ni 45, Fe

Никелин

Удельное сопротивление $\rho = 0,40 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, удельный вес $= 8,8 \text{ г/см}^3$,
 $\alpha = +0,00022 \text{ на } 1^\circ\text{Ц}$, точка плавления 1100°Ц

Диаметр в мм	Сечение в мм ²	Сопротивление 1 м в ом	Длина провода на 1 ом в м	Вес 100 м в г	Длина 1 кг го- лого провода в м	Сопроти- вление 1 кг голого провода в ом	Нагрузка из расчета $\frac{1 \text{ а/мм}^2}{\text{в а}}$
0,03	0,00071	566	0,00178	0,622	161 000	91 100 000	0,0028
0,04	0,00126	318	0,00315	1,11	90 100	28 700 000	0,0050
0,045	0,00159	252	0,00397	1,4	71 400	18 000 000	0,0064
0,05	0,00196	204	0,00490	1,73	57 800	11 800 000	0,0078
0,06	0,00283	137	0,00707	2,49	40 200	5 510 000	0,011
0,07	0,00385	104	0,00962	3,39	29 500	3 070 000	0,015
0,08	0,00503	79,5	0,0126	4,43	22 600	1 800 000	0,020
0,09	0,00636	62,9	0,0159	5,60	17 900	1 130 000	0,025
0,10	0,00785	51,0	0,0196	6,91	14 500	740 000	0,031
0,11	0,00950	42,1	0,0238	8,36	12 000	505 000	0,038
0,12	0,0113	35,4	0,0283	9,95	10 000	357 000	0,045
0,13	0,0133	30,1	0,0333	11,7	8 550	257 000	0,053
0,14	0,0154	26,0	0,0385	13,6	7 360	191 000	0,062
0,15	0,0177	22,6	0,0442	15,6	6 410	145 000	0,071
0,16	0,0201	19,9	0,0502	17,7	5 950	120 000	0,080
0,18	0,0255	15,7	0,0637	22,5	4 450	69 800	0,10
0,20	0,0314	12,7	0,0785	27,6	3 620	45 900	0,13
0,22	0,0380	10,5	0,0950	33,4	2 990	31 400	0,13
0,25	0,0491	8,14	0,123	43,4	2 300	18 700	0,20
0,30	0,0707	5,66	0,177	62,2	1 610	9 100	0,28
0,32	0,0804	4,98	0,201	70,8	1 410	7020	0,32
0,35	0,0982	4,16	0,241	84,6	1 180	4300	0,38
0,40	0,126	3,18	0,315	111,0	901	2780	0,50
0,45	0,159	2,53	0,398	140,0	714	1800	0,64
0,50	0,196	2,04	0,490	173	578	1180	0,78
0,60	0,238	1,37	0,707	249	402	551	1,1
0,70	0,385	1,04	0,962	339	295	307	1,5
0,80	0,503	0,795	1,26	443	226	180	2,0
0,90	0,636	0,629	1,59	560	179	113	2,5
1,0	0,785	0,510	1,96	691	145	74,0	3,1
1,1	0,950	0,421	2,38	836	120	50,5	3,8
1,2	1,13	0,354	2,83	995	101	35,7	4,5
1,3	1,33	0,301	3,33	1170	85,5	25,5	5,3
1,5	1,77	0,226	4,42	1560	64,1	14,5	7,1
1,8	2,55	0,157	6,37	2250	44,5	6,98	10
2,0	3,14	0,127	7,85	2760	36,2	4,59	12
2,2	3,80	0,105	9,50	3340	29,9	3,14	15
2,5	4,91	0,0815	12,3	4340	23,0	1,87	19
3,0	7,07	0,0566	17,7	6220	16,1	9,10	28

Манганин

Удельное сопротивление $\rho = 0,43 \text{ ом-мм}^2/\text{м}$, удельный вес $= 8,4 \text{ г/см}^3$,
 $\alpha = +0,00002$ на 1°Ц , точка плавления 910°Ц

Диаметр в мм	Сечение в мм ²	Сопротив- ление 1 м в ом	Длина провода на 1 ом в м	Вес 100 м в г	Длина 1 кг голого провода в м	Сопротив- ление 1 кг голого провода в ом	Нагрузка на расчет 4 а/мм ² в а
0,03	0,00071	606	0,00165	0,596	168 000	102 000 000	0,0028
0,04	0,00126	342	0,00293	1,06	94 400	32 300 000	0,0050
0,045	0,00159	271	0,00370	1,34	74 600	20 200 000	0,0064
0,05	0,00196	220	0,00456	1,65	60 600	12 200 000	0,0078
0,06	0,00283	152	0,00658	2,38	42 000	6 380 000	0,011
0,07	0,00385	112	0,00895	3,24	30 900	3 460 000	0,015
0,08	0,00503	85,4	0,0117	4,23	23 600	2 020 000	0,020
0,09	0,00636	67,6	0,0148	5,34	18 700	1 260 000	0,025
0,10	0,00785	54,8	0,0183	6,60	15 200	833 000	0,031
0,11	0,00950	45,3	0,0221	7,98	12 500	566 000	0,038
0,12	0,0113	38,1	0,0263	9,5	10 500	400 000	0,045
0,13	0,0133	32,4	0,0309	11,2	8 830	290 000	0,053
0,14	0,0154	27,9	0,0358	12,9	7 750	216 000	0,062
0,15	0,0177	24,3	0,0412	14,9	6 720	163 000	0,071
0,16	0,0201	21,4	0,0467	16,9	5 920	127 000	0,080
0,18	0,0255	16,9	0,0593	21,4	4 670	78 900	0,10
0,20	0,0314	13,7	0,0730	26,4	3 790	51 900	0,13
0,22	0,0380	11,3	0,0884	31,9	3 140	35 500	0,15
0,25	0,0491	8,76	0,114	41,2	2 430	21 300	0,20
0,30	0,0707	6,06	0,164	59,4	1 680	10 200	0,28
0,32	0,0804	5,34	0,187	67,5	1 480	7 900	0,32
0,35	0,0962	4,47	0,224	80,8	1 240	5 540	0,38
0,40	0,126	3,42	0,293	106	944	3 230	0,50
0,45	0,159	2,71	0,370	134	746	2 020	0,64
0,50	0,196	2,20	0,456	165	606	1 220	0,78
0,60	0,283	1,52	0,658	238	420	638	1,1
0,70	0,385	1,12	0,895	324	309	346	1,5
0,80	0,503	0,854	1,17	423	236	202	2,0
0,90	0,636	0,675	1,48	534	187	126	2,5
1,0	0,785	0,548	1,83	660	152	83,3	3,1
1,1	0,950	0,453	2,21	798	125	56,6	3,8
1,2	1,13	0,379	2,63	950	105	40,0	4,5
1,3	1,33	0,324	3,09	1 120	89,3	29,0	5,3
1,5	1,77	0,243	4,12	1 490	67,2	16,3	7,1
1,8	2,55	0,169	5,93	2 140	46,7	7,89	10
2,0	3,14	0,137	7,30	2 640	37,9	5,19	12
2,2	3,80	0,113	8,84	3 190	31,4	3,55	15
2,5	4,91	0,0875	11,40	4 120	24,3	2,13	19
3,0	7,07	0,0608	16,4	5 940	16,8	1,02	28

Резотан

Удельное сопротивление $\rho = 0,47 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, удельный вес $= 8,7 \text{ г/см}^3$,
 $\alpha = +0,00023$ на 1°Ц , точка плавления 1100°Ц

Диаметр в мм	Сечение в мм ²	Сопротив- ление 1 м в ом	Длина провода на 1 ом в м	Вес 100 м в г	Длина 1 кг голого провода в м	Сопротив- ление 1 кг голого провода в ом	Нагрузка на расчет ξ в мм ² в а
0,03	0,00071	662	0,00151	0,618	162 000	107 000 000	0,0028
0,04	0,00126	373	0,00268	1,10	90 900	33 900 000	0,0050
0,045	0,00159	296	0,00338	1,38	72 500	21 500 000	0,0064
0,05	0,00196	240	0,00417	1,71	58 500	14 000 000	0,0078
0,06	0,00283	165	0,00602	2,46	40 700	6 720 000	0,011
0,07	0,00385	122	0,00819	3,35	29 900	3 650 000	0,015
0,08	0,00503	93,4	0,0107	4,38	22 800	2 130 000	0,020
0,09	0,00636	73,4	0,0135	5,53	18 100	1 330 000	0,025
0,10	0,00785	59,8	0,0167	6,83	14 600	873 000	0,031
0,11	0,00950	49,5	0,0202	8,26	12 100	599 000	0,038
0,12	0,0113	41,6	0,0240	9,82	10 200	424 000	0,045
0,13	0,0133	35,4	0,0283	11,6	8 620	305 000	0,053
0,14	0,0154	30,5	0,0328	13,4	7 460	228 000	0,062
0,15	0,0177	26,6	0,0376	15,4	6 500	173 000	0,071
0,16	0,2101	23,4	0,0427	17,5	5 720	134 000	0,080
0,18	0,0255	18,4	0,0542	22,2	4 500	82 800	0,10
0,20	0,0314	15,0	0,0668	27,3	3 660	54 900	0,13
0,22	0,0380	12,4	0,0808	33,1	3 020	37 400	0,15
0,25	0,0491	9,57	0,0104	42,7	2 340	22 400	0,20
0,30	0,0707	6,64	0,0150	61,5	1 630	10 800	0,28
0,32	0,0804	5,84	0,171	70,0	1 430	8350	0,32
0,35	0,0962	4,88	0,205	83,7	1 190	5800	0,38
0,40	0,126	3,73	0,268	110,0	909	3300	0,50
0,45	0,159	2,96	0,338	138	725	2150	0,64
0,50	0,196	2,40	0,417	171	585	1400	0,78
0,60	0,283	1,65	0,602	246	407	671	1,1
0,70	0,385	1,22	0,819	335	299	365	1,5
0,80	0,503	0,934	1,07	438	228	213	2,0
0,90	0,636	0,734	1,35	554	181	133	2,5
1,0	0,785	0,598	1,67	683	146	87,3	3,1
1,1	0,950	0,495	2,02	826	121	59,9	3,8
1,2	1,13	0,416	2,40	982	102	42,4	4,5
1,3	1,33	0,354	2,83	1160	86,2	30,5	5,3
1,5	1,77	0,266	3,76	1540	65,0	17,3	7,1
1,8	2,55	0,184	5,42	2180	45,9	8,44	10
2,0	3,14	0,150	6,68	2730	36,6	5,49	12
2,2	3,80	0,124	8,08	3310	30,2	3,74	15
2,5	4,91	0,0957	10,4	4270	23,4	2,24	19
3,0	7,07	0,0664	15,0	6150	16,3	1,08	28

Константан

Удельное сопротивление $\rho = 0,49 \text{ ом-мм}^2/\text{м}$, удельный вес $= 8,9 \text{ г/см}^3$
 $\alpha = -0,000005$ на 1°Ц , точка плавления 1200°Ц

Диаметр в мм	Сечение в мм ²	Сопротив- ление 1 м в ом	Длина провода на 1 ом в м	Вес 100 м в г	Длина 1 кг голого провода в м	Сопротив- ление 1 кг голого провода в ом	Нагрузка из расчета 5 а/мм ² в а
0,03	0,00071	690	0,00145	0,632	158 000	109 000 000	0,0035
0,04	0,00126	389	0,00257	1,12	89 300	34 700 000	0,0063
0,045	0,00159	303	0,00324	1,42	70 400	21 700 000	0,0080
0,05	0,00196	250	0,00400	1,75	57 200	14 300 000	0,0098
0,06	0,00283	173	0,00578	2,52	39 700	6 870 000	0,014
0,07	0,00385	127	0,00782	3,43	29 200	3 910 000	0,019
0,08	0,00503	97,4	0,0103	4,48	22 300	2 170 000	0,025
0,09	0,00636	77,0	0,0130	5,66	17 700	1 330 000	0,032
0,10	0,00785	62,4	0,0160	6,99	14 300	892 000	0,039
0,11	0,00950	51,6	0,0194	8,46	11 800	608 000	0,048
0,12	0,0113	43,4	0,0231	10,1	9 900	429 000	0,056
0,13	0,0133	36,0	0,0272	11,8	8 470	312 000	0,067
0,14	0,0154	31,8	0,0314	13,7	7 300	232 000	0,077
0,15	0,0177	27,7	0,0361	15,8	6 330	175 000	0,089
0,16	0,0201	24,4	0,0410	17,9	5 080	124 000	0,11
0,18	0,0255	19,2	0,0520	22,7	4 420	84 600	0,13
0,20	0,0314	15,6	0,0641	28,0	3 570	55 600	0,16
0,22	0,0380	12,9	0,0776	33,8	2 950	38 200	0,19
0,25	0,0491	9,98	0,100	43,7	2 290	22 800	0,25
0,30	0,0707	6,93	0,144	62,9	1 590	11 000	0,35
0,32	0,0804	6,10	0,164	71,6	1 400	8 540	0,40
0,35	0,0962	5,09	0,196	85,5	1 170	5 950	0,48
0,40	0,126	3,89	0,257	112	893	3 470	0,63
0,45	0,159	3,08	0,325	142	704	2 170	0,80
0,50	0,196	2,50	0,400	175	572	1 430	0,98
0,60	0,283	1,73	0,578	252	397	687	1,4
0,70	0,385	1,27	0,786	343	292	391	1,9
0,80	0,503	0,974	1,03	448	223	217	2,5
0,90	0,636	0,770	1,30	566	177	136	3,2
1,0	0,785	0,624	1,60	699	143	89,2	3,9
1,1	0,950	0,516	1,91	846	118	60,8	4,8
1,2	1,13	0,434	2,31	1010	99	42,9	5,7
1,3	1,33	0,369	2,72	1180	84,7	31,2	6,7
1,5	1,77	0,277	3,61	1580	63,3	17,5	8,9
1,8	2,55	0,192	5,20	2270	44,1	8,46	13,0
2,0	3,14	0,156	6,41	2800	35,7	5,56	16,0
2,2	3,80	0,129	7,76	3380	29,6	3,82	19,0
2,5	4,91	0,0998	10,0	4370	22,9	2,28	25,0
3,0	7,07	0,0693	14,4	6290	15,9	1,10	35,0

Нихром

Удельное сопротивление $\rho = 1,0 \text{ ом-мм}^2/\text{м}$, удельный вес $= 8,2 \text{ г/см}^3$,
 $\alpha = +0,00017 \text{ на } 1^\circ \text{Ц}$, температура плавления 1550°Ц

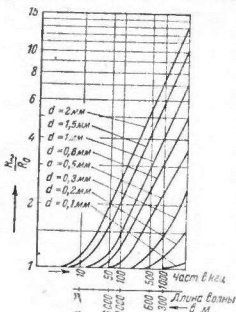
Диаметр в мм	Сечение в мм ²	Сопротив- ление 1 м в ом	Длина провода на 1 ом в м	Вес 100 м в г	Длина 1 кг голого провода в м	Сопротив- ление 1 кг голого провода в ом	Нагрузка на расчет а в мм ² в а
0,03	0,00071	1410	0,00071	0,582	172 000	242 000 000	0,0035
0,04	0,00126	794	0,00126	1,03	97 100	77 100 000	0,0063
0,045	0,00159	629	0,00159	1,30	91 300	57 400 000	0,0080
0,05	0,00196	510	0,00196	1,61	62 100	31 700 000	0,0098
0,06	0,00283	354	0,00283	2,32	43 100	15 300 000	0,014
0,07	0,00385	260	0,00385	3,16	31 200	8 110 000	0,019
0,08	0,00503	199	0,00503	4,13	24 200	4 810 000	0,025
0,09	0,00636	157	0,00636	5,22	19 200	3 010 000	0,032
0,10	0,00785	127	0,00785	6,44	15 500	1 970 000	0,039
0,11	0,00950	105	0,00950	7,79	12 800	1 340 000	0,048
0,12	0,0113	88,5	0,0113	9,27	10 800	959 000	0,056
0,13	0,0133	75,1	0,0133	10,9	9 170	689 000	0,067
0,14	0,0154	65,0	0,0154	12,6	7 940	516 000	0,077
0,15	0,0177	56,5	0,0177	14,5	6 900	390 000	0,089
0,16	0,0201	49,8	0,0201	16,5	5 060	302 000	0,11
0,18	0,0255	39,2	0,0255	20,9	4 790	188 000	0,13
0,20	0,0314	31,9	0,0314	25,8	3 880	124 000	0,16
0,22	0,0380	26,3	0,0380	31,2	3 210	84 400	0,19
0,25	0,0491	20,4	0,0491	40,3	2 480	50 500	0,25
0,30	0,0707	14,2	0,0707	50,8	1 720	24 400	0,35
0,32	0,0804	12,4	0,0804	65,9	1 520	18 800	0,40
0,35	0,0902	10,4	0,0962	78,8	1 270	13 200	0,48
0,40	0,126	7,94	0,126	103	971	7 710	0,63
0,45	0,159	6,29	0,159	130	913	5 740	0,80
0,50	0,196	5,10	0,196	161	621	3 170	0,98
0,60	0,283	3,54	0,283	232	431	1 530	1,4
0,70	0,385	2,6	0,385	316	312	811	1,9
0,80	0,503	1,99	0,503	413	242	481	2,5
0,90	0,636	1,57	0,636	522	192	301	3,2
1,0	0,785	1,27	0,785	644	155	197	3,9
1,1	0,950	1,05	0,950	779	128	134	4,8
1,2	1,131	0,885	1,13	927	108	95,6	5,7
1,3	1,33	0,751	1,33	1090	91,7	68,9	6,7
1,5	1,77	0,565	1,77	1450	79,4	51,6	8,9
1,8	2,54	0,392	2,55	2090	47,9	18,8	13
2,0	3,14	0,319	3,14	2580	38,8	12,4	16
2,2	3,80	0,263	3,80	3120	32,1	8,44	19
2,5	4,91	0,204	4,91	4030	24,8	5,05	25
3,0	7,07	0,142	7,07	5800	17,2	2,44	35

Ток плавления различных проводов

Ток плавления в а	Диаметр в мм						
	медь	алюминий	платина	никель	железо	олово	свинец
1	0,053	0,066	0,084	0,084	0,118	0,183	0,210
2	0,086	0,104	0,135	0,135	0,189	0,285	0,325
3	0,112	0,137	0,178	0,177	0,245	0,380	0,425
5	0,157	0,193	0,25	0,25	0,345	0,53	0,60
7	0,203	0,250	0,32	0,32	0,45	0,66	0,78
10	0,250	0,305	0,39	0,39	0,55	0,85	0,95
15	0,32	0,40	0,52	0,52	0,72	1,02	1,25
20	0,39	0,485	0,62	0,62	0,87	1,35	1,52
25	0,46	0,56	0,73	0,73	1,0	1,56	1,75
30	0,52	0,64	0,82	0,81	1,15	1,77	1,98
35	0,58	0,7	0,91	0,91	1,26	1,95	2,20
40	0,63	0,77	0,99	0,99	1,38	2,14	2,44
45	0,68	0,83	1,08	1,08	1,50	2,3	2,65
50	0,73	0,89	1,15	1,15	1,60	2,45	2,78
60	0,82	1,00	1,3	1,3	1,80	2,80	3,15
70	0,91	1,1	1,44	1,43	2,0	3,10	3,5
80	1,0	1,22	1,58	1,57	2,2	3,4	3,8
99	1,08	1,32	1,70	1,69	2,38	3,65	4,1
100	1,15	1,42	1,83	1,82	2,55	3,9	4,4
120	1,31	1,60	2,07	2,05	2,85	4,45	5,0
160	1,59	1,94	2,3	2,28	3,2	4,9	5,5
180	1,72	2,10	2,7	2,69	3,7	5,8	6,5
200	1,84	2,25	2,9	2,89	4,05	6,2	7,0
225	1,99	2,45	3,16	3,15	4,4	6,75	7,6
250	2,14	2,60	3,37	3,35	4,7	7,25	8,1
275	2,2	2,8	3,60	3,55	5,0	7,7	8,7
300	2,4	2,95	3,8	3,78	5,3	8,2	9,2

Действующее (в смысле активных потерь в проводе) сопротивление проводника зависит от геометрических размеров проводника, от его коэффициента проницаемости и от частоты тока (рис. 4.3). Подсчитать по формулам, какое сопротивление имеет данный проводник при той или иной частоте тока, довольно сложно, и во многих случаях просто не существует математической формулы для подсчета. Практически точно можно подсчитывать сопротивление только для одиночного прямолинейного проводника. Существуют формулы

и таблицы, дающие отношения сопротивления проводника при переменном токе к сопротивлению того же проводника при постоянном токе (частота равна 0). Это отношение обычно обозначается через $\frac{R_{\sim}}{R_0}$.



Фиг. 4. 3.

Для токов технической частоты — 50 гц — сопротивление, можно считать, совершенно не изменяется по сравнению с сопротивлением постоянному току независимо от диаметра и материала провода. Для частот звукового диапазона медные, алюминиевые и бронзовые провода диаметром от 2,5 мм и тоньше имеют сопротивление, отличающееся от сопротивления при постоянном токе на доли процента, и обычно в расчетах не принимается во внимание. Для железных проводов увеличение сопротивления для переменного тока звуковой частоты необходимо учитывать.

Для прямых круглых проводов сопротивление для переменного тока вычисляется следующим образом. Находится прежде всего значение вспомогательного параметра:

$$x = 0,0014d \sqrt{\frac{f\mu}{\rho}},$$

где d — диаметр провода в миллиметрах,

f — частота в герцах,

ρ — удельное сопротивление материала в ом-мм²/м,

μ — проницаемость (магнитная) материала проводника.

Зная x , находят соотношение $\frac{R_{\sim}}{R_0}$ по табл. 4. 30.

Если $x > 8$, то:

$$\frac{R_{\sim}}{R_0} = 0,353x + 0,27.$$

Для меди, бронзы, алюминия и прочих немагнитных материалов проницаемость μ берется равной единице. Для медного провода при 20° x можно считать по формуле:

$$x = 0,011 d \sqrt{f}.$$

Для железных проводов точные данные получить трудно. При небольшой плотности тока проницаемость железа обычно берется порядка $\mu = 400-500$.

Для железных проводов $x = 0,25 d \sqrt{f}$.

В лабораторно-измерительной практике иногда бывает необходимо построить сопротивление, величина которого при высокой частоте очень мало отличалась бы от величины его при токах низкой частоты. Для этой цели очень удобно пользоваться таблицей, составленной Американским

x	$\frac{R_{\sim}}{R_0}$	x	$\frac{R_{\sim}}{R_0}$	x	$\frac{R_{\sim}}{R_0}$	x	$\frac{R_{\sim}}{R_0}$
0,0	1,0	2,9	1,286	6,6	2,603	17,0	6,268
0,1	1,0	3,0	1,318	6,8	2,673	18,0	6,621
0,2	1,00001	3,1	1,351	7,0	2,743	19,0	6,974
0,3	1,0004	3,2	1,385	7,2	2,813	20,0	7,328
0,4	1,00013	3,3	1,420	7,4	2,884	21,0	7,681
0,5	1,00032	3,4	1,456	7,6	2,954	22,0	8,034
0,6	1,00067	3,5	1,492	7,8	3,024	23,0	8,387
0,7	1,00124	3,6	1,529	8,0	3,094	24,0	8,741
0,8	1,00212	3,7	1,566	8,2	3,165	25,0	9,094
0,9	1,0034	3,8	1,603	8,4	3,285	26,0	9,446
1,0	1,005	3,9	1,640	8,6	3,306	27,0	9,797
1,1	1,008	4,0	1,678	8,8	3,376	28,0	10,154
1,2	1,011	4,1	1,715	9,0	3,446	29,0	10,508
1,3	1,015	4,2	1,752	9,2	3,517	30,0	10,861
1,4	1,020	4,3	1,789	9,4	3,587	32,0	11,568
1,5	1,026	4,4	1,826	9,6	3,658	34,0	12,275
1,6	1,033	4,5	1,863	9,8	3,728	36,0	12,982
1,7	1,042	4,6	1,899	10,0	3,799	38,0	13,688
1,8	1,052	4,7	1,935	10,5	3,975	40,0	14,395
1,9	1,064	4,8	1,971	11,0	4,151	42,0	15,102
2,0	1,078	4,9	2,007	11,5	4,327	44,0	15,809
2,1	1,094	5,0	2,043	12,0	4,504	46,0	16,516
2,2	1,111	5,2	2,114	12,5	4,680	48,0	17,223
2,3	1,130	5,4	2,184	13,0	4,856	50,0	17,930
2,4	1,152	5,6	2,253	13,5	5,033	60,0	17,465
2,5	1,175	5,8	2,324	14,0	5,209	70,0	25,001
2,6	1,200	6,0	2,394	14,5	5,368	80,0	28,536
2,7	1,227	6,2	2,463	15,0	5,562	90,0	32,071
2,8	1,256	6,4	2,533	16,0	5,915	100	35,607

бюро стандартов. Таблица 4. 31 дает наибольший допустимый диаметр провода из определенного материала с тем, чтобы отношение $\frac{R_{\sim}}{R_0}$ не превосходило 1,01, т. е. увеличение сопротивления при заданной частоте не превышало бы 1% от сопротивления провода при постоянном токе.

Если допускаемое увеличение действующего сопротивления провода не должно превышать 10% этого сопротивления постоянному току, т. е.

если $\frac{R_{\sim}}{R_0} \leq 1,1$, то для получения наибольшего допустимого диаметра про-

вода значения таблицы надо умножить на 1,78. Если же допустимое увеличение действующего сопротивления не должно быть больше 0,1%, т. е.

$\frac{R_{\sim}}{R_0} \leq 1,001$, то табличные значения надлежит умножить на 0,55. Все

приведенные выше формулы и таблицы могут быть применены лишь в том случае, если провод не находится близко к другому проводу, имеющему относительно первого заметный коэффициент взаимной индукции. В противном случае влияние скин-эффекта возрастает на величину, не поддающуюся учету. Равным образом весьма трудно определить действующее сопротивление

провода, намотанного в катушку. Отношение $\frac{R_{\sim}}{R_0}$ при катушечной намотке

увеличивается (по сравнению с прямо натянутым проводом в условиях переменного тока той же частоты), но точно определить это увеличение сопротивления довольно трудно. О подсчете действующего сопротивления обмоток катушек будет сказано в главе о катушках (стр. 220).

При расчете допустимой плотности тока для провода при высокой частоте приходится принимать во внимание не сечение (как при постоянном токе), а периметр окружности этого сечения.

Необходимый диаметр круглого провода можно определить из следующей формулы:

$$d = \frac{14 \cdot I}{\sqrt{\lambda}},$$

где d — диаметр провода в миллиметрах,

I — ток в амперах,

λ — волна в метрах.

Для некоторой области частот выгодно применять вместо цельного провода многожильный канатик (литцендрат) с изолированными жилами. Следует, однако, иметь в виду, что, начиная с некоторого значения частоты, сопротивление такого канатика по мере увеличения частоты становится больше, чем сопротивление цельного провода того же сечения.

В случае прямолинейно натянутого канатика он окажется менее выгодным, начиная с частоты

$$f_{\text{крит}} = \frac{2500}{d^2 \cdot \gamma \cdot \sqrt{NK}},$$

где $f_{\text{крит}}$ — критическая частота в килогерцах,

d — диаметр отдельной жилки в миллиметрах,

γ — удельная проводимость (для меди при комнатной температуре $\gamma = 60$),

N — число жил в канатике,

K — пространственный коэффициент, т. е. отношение площади сечения меди к общей площади сечения канатика.

Таблица наибольших диаметров $(1,01 > \frac{R_{\infty}}{R_0} > 1,0)$

Частота в кГц	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2000	3000
Длина волны в м	3000	1500	750	500	375	300	250	214,3	187,5	150	100

Наибольший диаметр в мм

Материал	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2000	3000
Медь	0,356	0,251	0,177	0,145	0,125	0,112	0,102	0,095	0,089	0,084	0,079
Серебро	0,345	0,244	0,172	0,142	0,122	0,109	0,099	0,092	0,086	0,082	0,077
Золото	0,420	0,297	0,210	0,172	0,149	0,133	0,125	0,112	0,105	0,099	0,094
Платина	1,12	0,793	0,560	0,457	0,396	0,355	0,323	0,300	0,280	0,267	0,250
Руть	2,64	1,78	1,32	1,08	0,936	0,836	0,763	0,705	0,661	0,623	0,591
Манганин	1,78	1,26	0,89	0,73	0,631	0,564	0,512	0,477	0,446	0,420	0,380
Константан	1,89	1,34	0,946	0,772	0,664	0,598	0,546	0,506	0,473	0,446	0,423
Никелин	1,94	1,37	0,970	0,792	0,692	0,614	0,560	0,518	0,485	0,458	0,434
Графит	7,65	7,41	3,83	3,12	2,71	2,42	2,21	2,04	1,91	1,80	1,71
Уголь	16,0	11,3	8,01	6,54	5,66	5,06	4,62	4,28	4,00	3,77	3,58
Железо $\mu = 1000$	0,0263	0,0186	0,0131	0,0108	0,0094	0,0083	0,0076	0,0070	0,0066	0,0059	0,0048
» $\mu = 500$	0,0383	0,0264	0,0187	0,0152	0,0132	0,0118	0,0108	0,0100	0,0093	0,0084	0,0068
» $\mu = 100$	0,0838	0,0500	0,0418	0,0034	0,0295	0,0264	0,0241	0,0223	0,0203	0,0197	0,0152

ПРОВОЛОЧНЫЕ ЛИНИИ

На линиях связи применяются провода железные (стальные), медные, бронзовые, реже биметаллические и алюминиевые (или алюминиевых сплавов). Провода из этих материалов различаются по электрической проводимости и другим электрическим свойствам, механической прочности, стоимости и по удобству соединения концов между собой.

Железные (стальные) провода чаще всего используются на линиях связи. Провода применяются диаметром 6, 5 и 4 мм (для телеграфии) с разрывающим усилием 44 кг/мм². Такого же типа провода диаметром 4, 3 и 2,5 мм применяются для телефонии (и для трансляции) на короткие расстояния.

На городских линиях связи и на низовой внутрирайонной связи используются стальные провода с повышенным разрывающим усилием (65 кг/мм²) диаметром 2, 1,5 и 1,2 мм. Специального качества стальной провод диаметром 2,75 мм обладает разрывающим усилием 120 кг/мм² и применяется на больших пролетах между опорами.

Основные электрические и механические данные железных (стальных) проводов даны в табл. 4. 32. Нормы сопротивления железных проводов при разной температуре указаны в табл. 4. 33.

Основной показатель коэффициента полезного действия линии — коэффициент затухания β — для железных проводов меняется в зависимости от частоты в весьма широких пределах. Для стандартного железного провода диаметром 4 мм коэффициент затухания можно с достаточной для практики точностью подсчитывать по формуле:

$$\beta = 0.007 + 0.00001 f,$$

где f — частота в герцах. Это формула годна для диапазона частот от 400 до 2500 гц.

Нормы стрел провеса стальных (железных) проводов даны в табл. 4. 40, а нормы расхода провода на 1 км линии указаны в табл. 4. 39.

Медные и бронзовые провода имеют широкое применение в междугородной телефонии (и трансляции) токами тональной и высокой частоты.

Бронзовые провода изготавливаются только диаметром 1 мм. Бронза представляет собой сплав меди с некоторым количеством хрома, кремния или фосфора. Эти примеси понижают электрические свойства меди, но повышают ее механические свойства.

Медные (твердотянутые) провода изготавливаются диаметром 2,5; 3; 3,5 и 4 мм. Основные электрические и механические характеристики даны в табл. 4. 34.

Нормы сопротивления медных проводов при разной температуре приведены в табл. 4. 35, а нормы расхода на 1 км линии — в табл. 4. 39. Электрические свойства медных линий указаны в специальной табл. 4. 43. Эти данные относятся к частоте 800 гц.

Основной коэффициент линии — коэффициент затухания β — можно считать практически неизменным для всего телефонного диапазона частот от 400 до 3000 гц.

Сопротивление медных проводов для тональных частот можно считать равным сопротивлению постоянному току; для частот выше тональных сопротивление медного провода подсчитывается по формулам, приведенным на стр. 158 и 159.

Стрелы провеса медных проводов 4; 3,5; 3 и 2,5 мм мало отличаются от таких же стрел провеса стальных (железных) линейных проводов, и определяются по табл. 4. 40 на стр. 169.

Биметаллические провода имеют сердцевину из стали, внешний слой из меди и промежуточный слой из сплава стали с медью; количество меди в этой проволоке не должно превышать 50% общего ее веса. Биметаллическая проволока получает широкое применение по причине значительной экономии в расходе меди на ее изготовление и особенно в тех случаях подвески телефонных цепей в гололедных местностях, когда по проводимости был бы достаточен медный провод диаметром 3 мм, но по механическим свойствам 3-миллиметровая проволока не может быть применена.

Биметаллическая проволока изготавливается диаметром 1; 2; 2,5; 3,3,5 и 4 мм.

Основные электрические и механические данные биметаллического провода приведены в табл. 4. 36. Нормы сопротивлений при разной температуре в табл. 4. 37, нормы расхода на 1 км линии — в табл. 4. 39. Стрела провеса такая же, как и у медных и железных проводов (табл. 4. 40).

По своим электрическим свойствам биметаллические линии довольно близко подходят к линиям медного провода. Биметаллический провод диаметром 4 мм имеет коэффициент затухания β при частоте 800 гц в 2 раза больше против медного 2-миллиметрового провода.

При частоте же 30 000 гц затухание биметаллической линии превышает затухание медного провода всего лишь на 20%.

Провода из алюминия и его сплавов. Алюминий имеет удельное электро-сопротивление в 1,63 раза больше, чем медь, поэтому алюминиевый провод при электропроводности, равноценной меди, должен иметь поперечное сечение в 1,63 раза больше против меди.

Вес алюминия при диаметре в 1,27 раза большим будет в 2 раза меньше веса медного провода (алюминий легче меди в 3,2 раза).

Алюминиевый провод изготавливается диаметром 4 мм, однако вследствие своей мягкости применяется редко. Чаще применяется провод (диаметром также 4 мм) из алюминиевого сплава, называемого алдрей. Состав алдрея: 98,7% алюминия, 0,3% железа, 0,6% кремния и 0,4% магния. Кроме того, применяется сталелюминиевый канатик, состоящий из стальной жилы диаметром 1,62 мм, обвитый шестью алюминиевыми проволочками диаметром 1,67 мм каждая.

Основные данные проводов из алюминия и его сплавов приведены в табл. 4. 38. Нормы сопротивления при разной температуре — в табл. 4. 37, нормы расхода на 1 км линии — в табл. 4. 39. Стрелы провеса — в табл. 4. 40.

Определение стрелы провеса

Стрелой провеса проводов называют расстояние между точкой укрепления провода на изоляторе и уровнем, на котором находится самая низкая часть провода. Уменьшение стрелы провеса по сравнению с нормами в таблицах, приводит к обрыву провода при низких температурах, превышение нормы — к излишней затрате материалов, излишнему раскачиванию, касанию с соседними проводами. Стрелу провеса можно определить при помощи рейки с делениями, но практически чаще определяют подсчетом колебаний провода после удара по нему (раскачиванием). Раскачав (по возможности, с меньшей амплитудой качания) провод, подсчитывают число простых колебаний (полупериодов, т. е. качание влево и качание вправо считают за отдельные колебания). Стрелу провеса подсчитывают по формуле:

$$f = \left(\frac{670}{n} \right)^2,$$

где f — стрела провеса в сантиметрах,

n — число колебаний в минуту.

В табл. 4. 41 даны уже вычисленные значения стрелы провеса в зависимости от числа колебаний в минуту.

Стальные (железные) провода

Диаметр провода в мм	Допуск в диаметре в мм	Электри- ческое сопротив- ление 1 км провода при 20° в Ом	Темпера- турный коэффи- циент электрич. сопротивл.	Удельное сопротив- ление при +20° в Ом·мм²/м	Удельная провод- имость при +20° в М/Ом·мм²	Удельный вес в г/см³	Разрывающее усилие		Удлинение провода при раз- рыве
							в кг	в кг/мм²	
1,2	± 0,05	116	—	0,132	7,58	7,95	113	65	15
1,5		75	—				177		
2,0	± 0,10	42	0,005	0,138	7,25	7,75	204	44	6
2,5	± 0,10	27,8					216		
2,75	± 0,10	—	—	0,2	5	—	710	120	—
3	+ 0,10	19,55	0,005	0,138	7,25	7,75	310	44	6
4	— 0,05	11,05					550		
	+ 0,12								
5	— 0,06	7,04					830		
	+ 0,18								
	— 0,09								

Нормы сопротивления железных проводов при разной температуре
(в таблице сопротивления указаны в омах на 1 км)

Температура в °С	$d = 3 \text{ мм}$			$d = 4 \text{ мм}$			$d = 5 \text{ мм}$			$d = 7 \text{ мм}$		
	Нормальное сопротивление провода	Холодное сопротивление провода	Удельное сопротивление	Нормальное сопротивление провода	Холодное сопротивление провода	Удельное сопротивление	Нормальное сопротивление провода	Холодное сопротивление провода	Удельное сопротивление	Нормальное сопротивление провода	Холодное сопротивление провода	Удельное сопротивление
-30	15,37	16,15	16,00	8,65	9,07	9,51	5,53	5,81	6,08	3,84	4,03	4,22
-25	15,90	16,58	17,37	8,88	9,32	9,77	5,69	5,97	6,26	3,95	4,14	4,34
-20	16,13	17,02	17,83	9,12	9,57	10,03	5,84	6,13	6,42	4,05	4,25	4,46
-15	16,62	17,47	18,30	9,35	9,82	10,28	5,90	6,28	6,58	4,16	4,36	4,57
-10	17,04	17,90	18,75	9,59	10,07	10,54	6,14	6,43	6,75	4,27	4,47	4,68
-5	17,46	18,35	19,22	9,83	10,32	10,81	6,29	6,60	6,92	4,37	4,58	4,80
0	17,90	18,77	19,67	10,06	10,55	11,07	6,44	6,76	7,08	4,47	4,69	5,92
+5	18,30	19,20	20,12	10,29	10,80	11,32	6,58	6,92	7,25	4,57	4,80	5,03
+10	18,73	19,66	20,60	10,54	11,06	11,59	6,74	7,08	7,42	4,68	4,91	5,15
+15	19,14	20,11	21,08	10,74	11,31	11,84	6,89	7,23	7,58	4,78	5,02	5,20
+20	20,00	21,00	21,98	11,25	11,80	12,06	7,20	7,55	7,91	4,99	5,24	5,49
+25	20,40	21,44	22,45	11,48	12,05	12,62	7,35	7,71	8,08	5,10	5,35	5,61

Таблица 4.34

Медные и бронзовые провода

Диаметр провода в мм	Допуск в диаметре в мм	Электрическое сопротивление 1 км провода при 20° в ом	Температурный коэффициент электрич. сопротивл.	Удельное сопротивление при 20° в ом·мм ² /м	Удельная проводимость при 20° в м/ом·мм ²	Удельный вес в г/см ³	Разрывное усилие		% удлинения провода при разрыве
							в кг/м	в кг	
Бронзовый 1	+ 0,03	51,6	0,00152	0,0405	24,7	8,95	70	55	—
Медный 2,5	+ 0,04 — 0,03	3,63	0,0039	0,0178	56,18	8,90	43	238	2
» 3		2,52						342	
» 3,5		1,82						460	
» 4		1,42						690	

Таблица 4.35

Нормы сопротивления медных проводов при разной температуре
(в таблице сопротивления указаны в омах на 1 км)

Температура в °С	d = 2,5 мм			d = 3,0 мм			d = 3,5 мм			d = 4 мм		
	нормальное сопротивление провода в ом	хорошее состояние провода в воде	удовлетворительное состояние провода	нормальное сопротивление провода в ом	хорошее состояние провода в воде	удовлетворительное состояние провода	нормальное сопротивление провода в ом	хорошее состояние провода в воде	удовлетворительное состояние провода	нормальное сопротивление провода в ом	хорошее состояние провода в воде	удовлетворительное состояние провода
—30	2,91	3,06	3,20	2,03	2,13	2,23	1,49	1,56	1,64	1,14	1,20	1,25
—25	2,98	3,13	3,28	2,08	2,18	2,28	1,52	1,50	1,68	1,17	1,23	1,28
—20	3,06	3,21	3,37	2,12	2,23	2,33	1,56	1,64	1,72	1,20	1,26	1,33
—15	3,13	3,29	3,44	2,17	2,28	2,39	1,60	1,67	1,76	1,23	1,28	1,35
—10	3,20	3,36	3,52	2,22	2,33	2,44	1,53	1,71	1,80	1,25	1,31	1,38
— 5	3,27	3,43	3,60	2,27	2,38	2,50	1,67	1,75	1,84	1,28	1,34	1,41
0	3,34	3,51	3,67	2,32	2,44	2,55	1,70	1,79	1,88	1,31	1,37	1,44
+ 5	3,42	3,59	3,76	2,37	2,49	2,61	1,74	1,83	1,92	1,34	1,40	1,47
+10	3,49	3,66	3,84	2,42	2,54	2,66	1,78	1,86	1,96	1,37	1,43	1,50
+15	3,56	3,74	3,92	2,47	2,59	2,72	1,81	1,90	2,00	1,39	1,46	1,53
+20	3,63	3,81	3,99	2,52	2,65	2,77	1,85	1,94	2,04	1,42	1,49	1,56
+25	3,70	3,88	4,07	2,57	2,70	2,83	1,89	1,98	2,08	1,45	1,52	1,59
+30	3,77	3,96	4,15	2,62	2,75	2,88	1,92	2,02	2,12	1,48	1,55	1,62

Биметаллические провода

Таблица 4.36

Диаметр провода в мм	Допуск в диаметре в мм	Электрическое сопротивление 1 км провода при 20° в ом	Температурный коэффициент электр. сопротивл.	Удельное сопротивле- ние при +20° Ц	Удельная проводим- ность при +20° Ц	Удельный вес $\frac{g}{cm^3}$	Разрываю- щее уси- лие $\frac{kg}{mm^2}$	% удлинения про- вода при разрыве
				$\frac{ohm \cdot mm^2}{m}$	$\frac{m}{ohm \cdot mm^2}$			
1	+ 0,07	64,0	0,0041	0,0502	19,9	8,3	70	2
2	+ 0,08	16,0					60	
2,5	- 0,08	10,24					58	
3		7,11					57	
3,5		5,22					56	
4		4,0					55	

Таблица 4.37

Норма сопротивления биметаллических и алюминиевых проводов
при разной температуре

(на 1 км)

Темпера- тура в °Ц	Биметаллическая цепь 4 мм			Алюминиевая цепь 4 мм		
	нормаль- ное сопро- тивление провода в ом	хорошее состояние провода	удовлетво- рительное состояние провода	нормаль- ное сопро- тивление провода в ом	хорошее состояние провода	удовлетво- рительное состояние провода
-30	2,63	2,76	2,89	2,25	2,36	2,48
-25	2,70	2,88	2,97	2,30	2,42	2,53
-20	2,77	2,90	3,04	2,35	2,47	2,58
-15	2,83	2,97	3,11	2,40	2,52	2,64
-10	2,90	3,04	3,19	2,45	2,57	2,70
- 5	2,97	3,12	3,26	2,50	2,62	2,75
0	3,04	0,19	3,34	2,55	2,68	2,80
+ 5	3,10	3,26	3,41	2,60	2,73	2,86
+10	3,17	3,33	3,48	2,65	2,78	2,91
+15	3,24	3,40	3,56	2,70	2,84	2,97
+20	3,31	3,48	3,64	2,75	2,89	3,02
+25	3,38	3,55	3,72	2,80	2,94	3,08
+30	3,45	3,62	3,80	2,85	2,99	3,14

Провода из алюминия и его сплавов

Диаметр и материал провода в мм	Допуск в диаметре в мм	Электрическое со- противление 1 км провода при 20° в ом	Температурный коэффициент электр. сопротивления	Удельное сопро- тивление при 20° в ом-мм ² /м	Удельная прово- димость при 20° в м/ом-мм ²	Удель- ный вес в г/см ³	Разрывающее усилие		Удлинение прово- да при разрыве в %
							в кг/мм ²	в кг	
Алюминий 4 мм	—	2,4	0,0036	0,029	34,5	2,7—2,75	17—20	270—320	—
Альдрей 4 мм	±0,004	2,65	—	0,033	30	2,7	34	428	5
Сталеалюми- ниевый ка- натик:									
одна жила стальная	1,59—1,65	2,2	0,004	—	—	— 52 кг вес 1 км	120	400	—
шесть жил алюминиевых	1,67 $\left\{ \begin{array}{l} +0,02 \\ -0,03 \end{array} \right.$						17		

Таблица 1,39

Нормы расхода проволоки для подвески 1 км в килограммах

Провод	Диаметр провода в мм								
	6	5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Железный	220	155	100	—	56	—	—	—	—
Медный (бронзовый)	—	—	113	80,5	64	45	30	16,5	7
Алюминиевый	—	—	34,3	—	—	—	—	—	—
Биметаллический	—	—	106	—	—	—	—	—	—
Перевозочная проволока:									
железная оцинкованная	—	—	—	—	1,2	0,9	0,6	—	—
медная	—	—	—	—	—	1,0	0,6	0,4	0,2
медная луженая	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25
железная оцинкованная для спаяк	—	—	—	—	—	—	—	—	0,09

Таблица 1.40

Стрелы провеса стальных (железных), медных и биметаллических проводов диаметрами от 2,5 до 6 мм

Число столбов на 1 км	40	32	24	20	16,5	16	12,5	12	10
Величина провеса в м	25	31,25	41,7	50	60	62,5	80	83,3	100
Температура в °Ц	Стрела провеса в см								
—30	5	9	16	22	32	35	57	62	92
—25	6	10	17	24	35	39	62	66	98
—20	7	11	19	27	38	42	67	71	104
—15	8	12	21	30	42	46	72	77	110
—10	10	14	23	33	46	51	77	82	116
— 5	11	16	26	36	50	55	82	88	122
0	13	19	29	40	54	60	87	94	129
+ 5	15	21	33	43	58	65	93	100	135
+10	18	24	36	47	63	69	98	105	141
+15	20	27	40	51	67	74	103	110	147
+20	23	30	43	55	71	78	109	116	154
+25	25	33	46	59	76	83	114	123	190
+30	28	36	51	63	81	87	120	129	166

Таблица 1.41

Определение стрелы провеса по числу колебаний провода

Число колебаний в минуту	Стрела провеса в см	Число колебаний в минуту	Стрела провеса в см	Число колебаний в минуту	Стрела провеса в см
50	178	62	116	83	64
51	172	63	112	86	60
52	165	64	109	90	55
53	159	65	106	95	50
54	153	66	103	100	45
55	148	67	100	106	40
56	143	69	94	113	35
57	138	70	91	120	31,1
58	133	73	84	122	30,1
59	128	75	80	134	24,9
60	124	77	76	149	20,1
61	120	80	70	150	19,9

Таблица 4.42

Стрелы провеса проводов альдрей

Число столбов на 1 км	40	32	24	20	16,5	16	12,5	12
Величина пролета в 1 км	25	31,25	41,7	50	60	62,5	80	83,3
Температура в °Ц	Стрела провеса в см							
—30	3	5	9	12	20	22	35	39
—25	3,5	6	10	14	22	25	39	44
—20	4	7	12	17	25	28	44	50
—15	5	8	14	19	28	32	50	56
—10	6	9	16	23	32	37	57	63
— 5	7	11	20	27	38	43	64	71
0	10	14	24	33	44	50	72	80
+ 5	12	17	29	38	52	58	82	90
+10	16	22	34	44	60	66	92	100
+15	20	27	40	51	67	74	103	115
+20	25	32	47	58	73	82	113	120
+25	29	38	53	65	81	90	122	130
+30	33	44	59	73	90	98	141	138

Стрела провеса сталеалюминиевого канатика

—30	3	5	10	14	20	24	38	43
—25	4	6	11	15	23	27	43	48
—20	5	7	13	17	26	30	48	54
—15	6	8	15	20	30	35	54	61
—10	7	10	17	23	34	40	61	69
— 5	8	12	21	28	40	46	69	77
0	10	14	25	33	46	52	77	85
+ 5	13	18	30	38	53	59	85	92
+10	16	23	35	44	60	67	94	100
+15	20	27	40	51	67	74	103	110
+20	24	31	45	58	73	81	111	118
+25	27	35	50	64	80	88	119	125
+30	31	40	56	70	88	95	127	132

Данные воздушных линий
(по материалам НИИС НКС)

Материал провода		Диаметр провода в мм	Сопротивление 1 км в ом	Индуктив- ность 1 км в мГн	Емкость 1 км в см
Расстояние между проводами 30 см	Бронза	1,2	65,5	2,59	4230
	»	1,5	31,4	2,50	4380
	»	2,0	17,6	2,38	4600
	»	2,5	11,4	2,29	4770
	Твердотянутая медь	3,0	5,2	2,22	4920
	»	3,5	3,8	2,15	5100
	»	4,0	2,9	2,10	5220
	»	4,5	2,3	2,05	5340
Расстояние между проводами 60 см	Бронза	2,5	11,4	2,57	4260
	Твердотянутая медь	3,0	5,2	2,50	4380
	»	3,5	3,8	2,44	4500
	»	4,0	2,9	2,38	4600
	»	4,5	2,3	2,33	4730
	Алюминий	4,0	4,8	2,38	4600
	Биметалл	4,0	6,7	2,40	4600
	Железо	3,0	40	11,7	4380
	»	4,0	22	9,4	4600
	»	5,0	14,5	7,4	4790

Антенный канатик

Данные многожильного антенного канатика приведены в табл. 4. 44. Нормальными материалами для проводов антенны являются бронзовый и медный канатики, провода из твердой меди, бронзы и алюминия. Сечение и длину провода в зависимости от пролета рекомендуется брать применительно к табл. 4. 44.

Таблица 4. 44

Длина пролета в м	Длина провода в м	Бронза		Красная медь		Примечание
		диаметр провода в мм	число и диаметр жил канатика — / мм	диаметр провода в мм	число и диаметр жил канатика — / мм	
25	26	1,0	7×0,35	—	—	Для той же длины пролета алюминиевый провод должен обладать сече- нием в 3 раза большим, чем бронзовый.
40	41	1,5	7×0,50	2,1	7×0,67	
50	52	2,1	7×0,67	2,6	19×0,52	
60	62	2,1	7×0,67	3,0	7×1,0	
70	71	2,6	7×0,67	3,0	7×1,0	
80	82	2,6	19×0,52	3,2	19×0,64	
90	93	2,6	19×0,52	3,9	7×7×0,43	
100	103	2,6	19×0,52	4,7	7×7×0,51	
111	113	3,0	7×1,0	4,7	7×7×0,51	
120	123	3,0	8×1,0	4,7	7×7×0,51	

НЕПРОВОЛОЧНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Эта группа сопротивлений чрезвычайно широко применяется во всех приемно-усилительных устройствах. Непроволочные сопротивления весьма компактны и могут быть изготовлены (при неизменно малых размерах) на любую величину сопротивления вплоть до нескольких мегомов. Непроволочные сопротивления включают две основные группы: графитовые (состоящие из спрессованной и термически обработанной графитовой массы большого удельного сопротивления) и металлизированные, в которых чрезвычайно тонкая металлическая пленка наносится на стерженек из стекла или другого изолятора.

Непроволочные сопротивления имеют обычно следующие применения (в приемно-усилительных установках):

- а) сопротивления утечек сеток и «гридпиков»,
- б) анодные сопротивления в усилителях на сопротивлениях,
- в) развязывающие цепи,
- г) делители напряжения для экранирующих сеток,
- д) последовательные сопротивления, необходимые для понижения напряжения (в любых цепях),
- е) для регулирования громкости и тембра,
- ж) катодные сопротивления, включенные для получения автоматического смещения на сетки,

з) защитные сопротивления для подавления нежелательных колебаний (специальное применение в зажигательной системе автомобильных или авиационных моторов),

и) сопротивления, вносящие дополнительное затухание в колебательные контуры.

Пределом использования непроводящих сопротивлений в мощных усилительных устройствах или в передатчиках является сравнительно небольшая мощность этих сопротивлений (максимальная мощность рассеяния 2—3 *вт*).

Производство графитовых сопротивлений в настоящее время достигло почти «стандартного уровня», поэтому можно указать некоторые технические показатели, средние для всей группы графитовых сопротивлений. Широко известные в СССР сопротивления старого типа «Каминского» (рис. 4.4) и в настоящее время заменяются современными типами

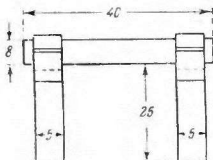


Рис. 4.4. Размеры сопротивления типа Каминского 1-ваттного типа.

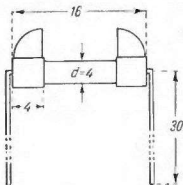


Рис. 4.5. Размеры сопротивления «Дианхут».

(III и VIII на рис. 4.9) графитовых сопротивлений, которым и соответствуют приводимые далее технические показатели.

Типы и размеры графитовых сопротивлений

Графитовые сопротивления выпускаются на пять различных мощностей: $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 и 2 *вт*. Следует здесь же указать, что подобное деление на группы по мощности не является критическим и сопротивления каждой из групп могут выдерживать мощность выше номинальной в течение весьма длительного срока, в особенности если этому способствуют и условия охлаждения (свободный монтаж и пр.). В частности, например, $\frac{1}{4}$ -ваттные сопротивления обычно могут нагружаться до 1 *вт*, так как токоотводящие проводники из-за малых размеров самого сопротивления образуют относительно большую охлаждающую поверхность повышенной теплопроводности. Подбор типа сопротивлений по мощности можно производить по графикам рис. 4.6, 4.7 и 4.8.

По типу внешней изоляции графитовые сопротивления делятся на две основные группы: а) с усиленной изоляцией и б) без изоляции. На рис. 4.9 типичными сопротивлениями первой группы являются сопротивления, отмеченные цифрами III, VI, VII и VIII. Изоляция этих сопротивлений

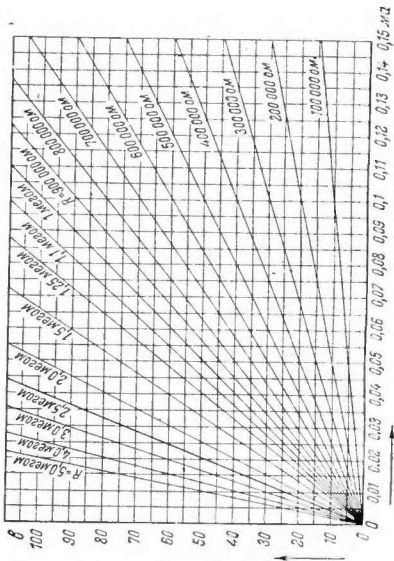


Рис. 4.6. График для выбора сопротивлений по току или допустимому падению напряжения для значения $U = 100$ в и I от 0,01 до 0,15 ма.

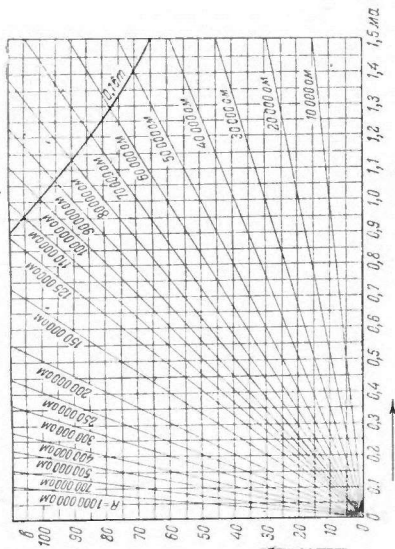


Рис. 4.7. График для токов от 0,1 до 1,5 ма.

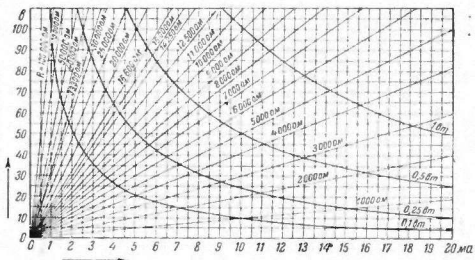


Рис. 4.8. График для токов от 1 до 15 мА.

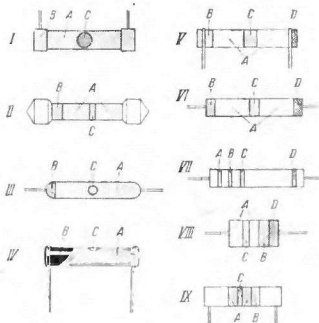


Рис. 4.9.

состоит из твердого внешнего (керамического или пластмассового) цилиндрика, внутри которого закреплено токопроводящее сопротивление. Выходящие с торцов проводнички могут быть заключены при монтаже в изолирующие трубочки, и сопротивление, таким образом, может быть замонтировано рядом с металлическими деталями без опасности пробоя, короткого замыкания и механического повреждения (царапины и пр.). Сопротивления без изоляции снаружи покрываются также изолирующими лаками, однако эти лаки не являются достаточными для предохранения сопротивлений от нежелательного электрического контакта при соприкосновении, царапине и пр. Поэтому такие сопротивления считаются неизолированными, и при монтаже их надо располагать на достаточном расстоянии от других деталей.

Геометрические размеры (габарит) сопротивлений зависят от типа и мощности. Средними можно считать данные, приведенные в табл. 4. 45:

Таблица 4. 45

Группа по мощности в <i>вт</i>	Изолированные		Не изолированные	
	длина в мм	диаметр в мм	длина в мм	диаметр в мм
2	—	—	50—55	11—13
1	40—42	6—8	42—46	7—11
$\frac{1}{2}$	18—22	5—7	24—28	6—10
$\frac{1}{4}$	15—18	5—7	18—20	4—7
$\frac{1}{10}$	—	—	10—12	3—6

Величина сопротивлений и допуски

Графитовые сопротивления изготавливаются непрерывной серией от 100—150 *ом* до десятков мегомов. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к сопротивлениям конструкторами приемно-усилительной аппаратуры, сопротивления выпускаются маркированные по величине с допусками в 20, 10 и 5%. Сопротивления 5%-ной серии дороже в производстве и в массовой аппаратуре не применяются. Современный радиоприемник массового потребления конструируется таким образом, что работа его не будет нарушена, если величина любого входящего в схему сопротивления (нескольких или даже всех) будет отличаться от номинала на $\pm 20\%$. Это удешевляет производство, гарантирует потребителю исправность приемника при смене ламп или случайном изменении величины сопротивлений, облегчает ремонт, связанный с заменой одного сопротивления на другое.

Применение сопротивлений с допуском по величине $\pm 20\%$ позволяет ограничиться очень небольшой номенклатурой сопротивлений. Так, на-

пример, просмотрев все схемы приемников крупнейшей американской радиопромышленности (RCA), легко можно убедиться, что величины сопротивлений стандартизованы в группах, различающихся примерно на 50%.

П р и м е ч а н и е. Если между числом A и большим числом B требуется разместить n промежуточных значений, то каждая величина будет отличаться от предшествующей в $\sqrt[n]{\frac{B}{A}}$ раз. В данном случае между 10 и 1 требовалось установить 6 интервалов, поэтому соотношение получилось: $\sqrt[6]{\frac{10}{1}} = 1,47$. Далее величины сопротивлений устанавливались с округлением до двух первых значащих цифр.

Первые две цифры сопротивлений встречаются только следующие: 10, 15, 22, 33, 47 и 68. Наиболее распространенная группа сопротивлений от 10 000 ом до 1 мгом, состоит, таким образом, всего из 13 типов:

10 000 ом	150 000 ом
15 000 »	220 000 »
22 000 »	330 000 »
33 000 »	470 000 »
47 000 »	680 000 »
68 000 »	1 мгом
100 000 »	

Для специальных усилителей сопротивления ставятся с допуском $\pm 10\%$. Приведенная только что номенклатура сопротивлений увеличивается сопротивлениями, первые две цифры которых, равны: 12, 18, 27, 30, 56 и 82.

Цветной код

Наличие большого количества непроволочных сопротивлений в современных радиоустройствах (в среднем от 20 до 40 в обычных приемниках или усилителях) требовало такой системы обозначения их величины на самих сопротивлениях, чтобы быстрый розыск нужного сопротивления при ремонте был возможен при любом положении замонтированного сопротивления. Штамповка цифр на самом сопротивлении или на ленточных отводах (как, например, у старого типа сопротивлений Каминского) оказалась малоприменимой, — потребовалась раскраска сопротивлений по условному коду. В настоящее время правом международного стандарта пользуется американский цветной код, которым маркируются и новые типы сопротивлений, выпускаемых на советских заводах. Приводим этот код.

Система раскраски использует три цвета (рис. 4. 9):

A — основной цвет окраски корпуса сопротивления указывает первую значащую цифру величины сопротивления,

B — окраска края сопротивления (нитяно или кольцо на конце корпуса сопротивления) указывает вторую значащую цифру сопротивления,

C — цвет точки или пояска в середине корпуса указывает, сколько нулей надо добавить к первым двум значащим цифрам для получения величины сопротивления в омах.

В некоторых случаях, особенно при расцветке изолированных сопротивлений, вместо окраски корпуса применяется система трех цветных поясков (типы VII и VIII на рис. 4. 9). Для сопротивлений с малым допуском в некоторых случаях величина допуска обозначается четвертым цветом — пояском D на краю корпуса: 5%-ный допуск отмечается золотистобронзовым

пояском, 10%-ный допуск отмечается серебристо-бронзовым пояском. Иногда 10%-ный допуск так же, как и 20%-ный, остается без специальной отметки допуска.

Значение цветов следующее:

Таблица 4.46

Цвет	для пояса А (первая значащая цифра)	для пояса В (вторая значащая цифра)	для пояса С (число добавляемых нулей)
Черный	—	0	—
Коричневый	1	1	0 (1)
Красный	2	2	00 (2)
Оранжевый	3	3	000 (3)
Желтый	4	4	0000 (4)
Зеленый	5	5	00000 (5)
Синий (голубой)	6	6	000000 (6)
Фиолетовый	7	7	—
Серый	8	8	—
Белый	9	9	—

Примеры, иллюстрирующие применение цветного кода (рис. 4.9):

Таблица 4.47

Величина сопротивления и допуск	Цвет корпуса, или пояса А	Цвет края, или пояса В	Цвет точки, или пояса С	В
допуск 10 ом	коричневый	черный	черный	—
допуск 100 »	»	»	коричневый	—
допуск 3 800 »	оранжевый	серый	красный	—
допуск 5 600 »	зеленый	синий	»	—
допуск 47 000 »	желтый	фиолетовый	оранжевый	—
допуск 200 000 »	коричневый	красный	зеленый	—
допуск 3 400 »	оранжевый	желтый	красный	серебристый
допуск 40 000 »	желтый	черный	оранжевый	»
допуск 100 000 »	коричневый	»	желтый	»
допуск 4 700 »	желтый	фиолетовый	красный	золотистый
допуск 10 000 »	коричневый	черный	оранжевый	»
допуск 3 300 000 »	оранжевый	оранжевый	зеленый	»

На рис. 4.9 даны примеры различных способов нанесения цветных поясков на корпус сопротивления. Ширина этих поясков и форма отметок не являются строго постоянными, но система кода такова, что величина сопротивления всегда может быть прочитана безошибочно.

Устойчивость величины сопротивления

На рис. 4.10 показано, как изменяется рабочая температура сопротивлений различной мощности при изменении величины нагрузки. По оси ординат отложено повышение температуры сопротивления над окружающей температурой. В связи с изменением рабочей температуры величина сопро-

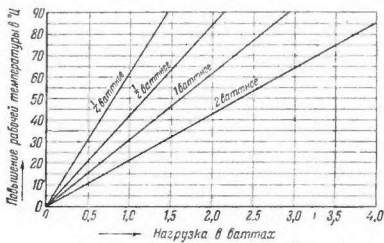


Рис. 4.10.

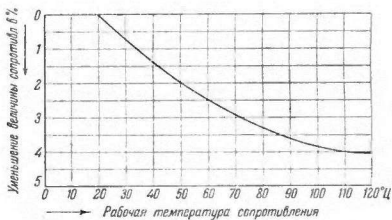


Рис. 4.11.

тивлений также несколько меняется, причем для графитовых сопротивлений повышение температуры вызывает уменьшение величины сопротивлений обычно в пределах нескольких процентов. На кривых рис. 4. 11 показана типовая кривая изменения сопротивления для графитовой группы сопротивлений. За номинальную величину сопротивления принимается обычно сопротивление при 20°.

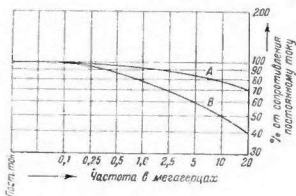
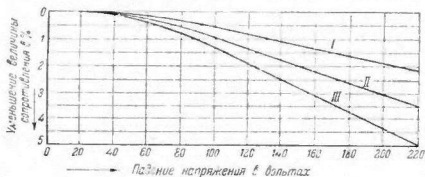


Рис. 4.12.

При изменении частоты приложенного к сопротивлению напряжения величина сопротивления (независимо от типа) уменьшается, причем это



Фиг. 4.13.

изменение для радиочастот особенно заметно в сопротивлениях большой величины (от 0,1 мгом и выше). Причиной изменения величины сопротивления при высоких частотах является как шунтирующее действие внутренней собственной емкости сопротивления, так и влияние диэлектрических масс, имеющихсЯ вокруг проводящей массы. На рис. 4. 12 приведены две кривые, соответствующие сопротивлениям разных конструкций. Кривая B относится к сопротивлению, имеющему оболочку с большим количеством изолирующей массы.

Независимо от изменения рабочей температуры величина сопротивления зависит также и от приложенного напряжения. Эта зависимость характеризуется так называемым коэффициентом напряжения, показывающим, на сколько процентов изменяется величина данного сопротивления под дей-

ствием напряжения той или иной величины. Величина этого изменения считается прямо пропорциональной действующему напряжению. Коэффициент напряжения зависит от состава смеси, образующей токопроводящую массу, от физических размеров сопротивления и от величины сопротивления.

В виде примера на рис. 4. 13 приведено уменьшение величины сопротивления в зависимости от приложенного напряжения для $1/4$ -ваттного сопротивления величиной в 1 мгом. Кривые I—III относятся к сопротивлениям азличной выработки.

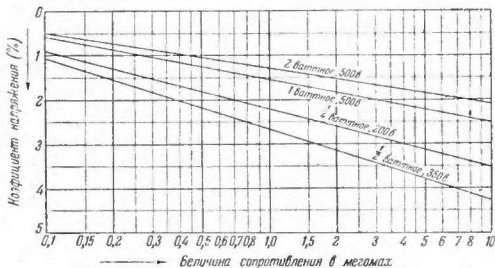


Рис. 4.14.

На рис. 4. 14 даны графики коэффициентов напряжения для нескольких типов сопротивлений и для разных значений номинальных величин сопротивлений. Значения исходных напряжений указаны на самом графике рис. 4. 14. Покажем на примере пользование этими графиками.

Пр и м е р. Известно, что $1/2$ -ваттное сопротивление при напряжении 50 в имело величину равно 2 мгом. Требуется определить его действительное сопротивление при включении под напряжение 250 в.

Р е ш е н и е. По нижней (для $1/2$ -ваттного сопротивления) кривой рис. 4. 14 находим, что для сопротивления 2 мгом коэффициент напряжения равен 3,2% при напряжении 350 в.

Напряжение изменилось на $250 - 50 = 200$ в, следовательно, уменьшение сопротивления составит: $3,2 \cdot \frac{200}{350} = 1,83$ (%).

Действительное сопротивление будет (при напряжении 250 в) иметь величину:

$$2\,000\,000 \left(1 - \frac{1,83}{100} \right) = 1\,963\,000 \text{ ом.}$$

Следует иметь в виду, что типовые кривые рис. 4. 14, также и кривые прочих графиков данного раздела относятся к средним сортам сопротивлений и в зависимости от сорта примененной токопроводящей массы могут несколько изменяться в ту или другую сторону.

Собственные шумы сопротивлений

При включении графитового сопротивления к постоянному напряжению ток через сопротивление не будет строго постоянным (из-за неоднородности токопроводящей массы). Переменную составляющую этого пульсирующего тока можно сравнивать с вызывающим такой же эффект напряжением переменного тока. Обычно сравнивают с переменным током частотой в 1000 гц, хотя эти пульсации тока в графитовом сопротивлении при дальнейшем

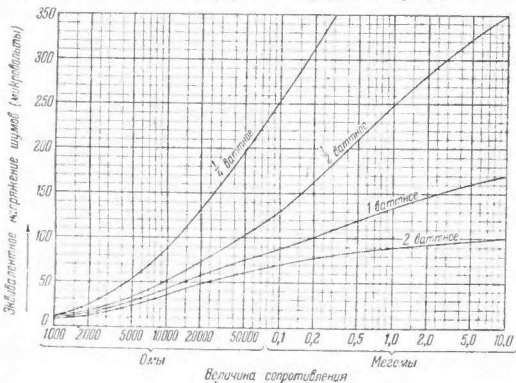


Рис. 4.15.

усиления вызывают не тон определенной частоты, а спектр частот, создающий впечатление шума. Качество сопротивлений будет тем выше, чем меньше будет это эквивалентное напряжение шумов. Величина шума зависит (при одной и той же токопроводящей массе) от размеров сопротивления и величины его сопротивления (в омах). Общее требование к сопротивлениям: эквивалентное напряжение шумов для любого сопротивления не должно превышать 600 мкв при номинальной нагрузке этого сопротивления.

На рис. 4. 15 показаны типичные кривые шумовых уровней для сопротивлений различных групп. Кривые дают эквивалентные напряжения шумов, возникающие в сопротивлениях при их полной (номинальной) нагрузке.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИНДУКТИВНОСТЬ И КАТУШКИ

ВВЕДЕНИЕ

При составлении данного отдела в основу были положены следующие установки:

1. Формулы для подсчета величины индуктивности приводятся только приближенные, доступные по сложности вычислений для достаточно широкого круга радиотехников.

2. Исходной точкой для точности вычислений принята величина допускаемой ошибки порядка 2—5%, что более чем удовлетворительно в практических условиях. Границы применения формул и усложнения побочными данными расширены только в пределах вероятного применения этих формул в практике радиотехника, связанного, главным образом, с эксплуатацией. Катушки из магнитных проводников, провода прямоугольного сечения, лепточные катушки и пр., сравнительно редко встречающиеся в практике конструкции, не включены в расчеты. Равным образом не рассматриваются отдельно конструкции катушек, расчет которых требуется при проектировании радиопередатчиков.

3. Расчет приемных катушек сделан не в целях «отвлеченного» конструирования катушки с оптимальными размерами и минимальными потерями, а главным образом, с точки зрения практики: выбора провода и вычисления необходимого числа витков для получения заданной величины индуктивности для катушек обычных конструкций, применяемых в массовой радиоаппаратуре. Расчет активного сопротивления катушки приведен только для бескаркасной катушки, намотанной из голого провода. Изоляция провода, качество каркаса, наличие в монтаже экранов и близко расположенных деталей весьма сильно могут изменить величину действующего сопротивления катушки.

4. Как показывают практика и подробные расчеты, отклонения (от указанных средних) в величине диаметра провода и отношение длины намотки к диаметру катушки вносят сравнительно незначительные изменения в величину общего действующего сопротивления катушки. Данные катушки определяются в современной массовой радиоаппаратуре, *главным образом, допустимым габаритом, материалом каркаса, близостью экранов нагрузкой в связанных цепях и прочими условиями*, переводящими расчет катушки совсем в другую плоскость, мало связанную с классическим расчетом Беттерворта.

5. Расчет индуктивности однослойной катушки произведен по несколько измененным формулам Нагаока. Для других форм катушек приводятся эмпирические американские формулы, не требующие вспомогательных таблиц, графиков или коэффициентов; число витков и геометрические размеры катушки сразу дают нужный результат. Для наиболее часто встречающегося в практике обратного расчета — сколько витков, какого диаметра —

специально для данного справочника составлен ряд графиков для однослойных катушек. Об условиях получения оптимального варианта даны только вспомогательные сведения и примеры, так как в полном объеме вопрос весьма сложен.

6. Изменения длины волны и частоты при небольших изменениях индуктивности можно считать равными половинному (в процентном отношении) изменению индуктивности. Таким образом почти все приведенные формулы, дающие точность 2—5%, обеспечивают совпадение с проектируемой длиной волны с точностью порядка 1—2%. Равным образом вычисление необходимого числа витков по заданной индуктивности получается с точностью, достигающей до 1—2 витков.

7. В радиоустройствах встречаются катушки с весьма отличными величинами индуктивностей, и практически приходится применять все четыре перечисленные единицы. Приводим в табл. 5.1 важнейшие числовые соотношения между этими единицами:

Таблица 5.1

Генри	Миллигенри	Микрогенри	Сантиметры
1	1000	1 000 000	1 000 000 000
0,1	100	100 000	100 000 000
0,01	10	10 000	10 000 000
0,001	1	1 000	1 000 000
0,000 1	0,1	100	100 000
0,000 01	0,01	10	10 000
0,000 001	0,001	1	1 000
0,000 000 1	0,0001	0,1	100
0,000 000 01	0,00001	0,01	10
0,000 000 001	0,000001	0,001	1

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШЕК

Эмпирическим путем был выработан тип формул для подсчета индуктивности различных форм намотки. Эти формулы могут обслуживать почти все типы катушек, встречающихся в практике.

Для *однослойной* катушки типа, изображенного на рис. 5.1, индуктивность:

$$L_{\text{см}} = \frac{200D^2n^2}{9D + 20b}$$

Здесь D — средний диаметр витков в сантиметрах (под термином «средний диаметр» понимается диаметр витка, вычитываемый между линиями центров проводов),

b — длина намотки в сантиметрах,

n — число витков,

$L_{\text{см}}$ — индуктивность в сантиметрах.

Данная формула даст очень точные результаты в тех случаях, когда длина катушки больше, чем радиус витков, т. е. при $b > \frac{D}{2}$. Если катушка короткая и широкая, т. е. при $b < \frac{D}{2}$, более точные результаты получаются, если вычисления производить при следующей величине постоянных коэффициентов.

$$L_{\text{см}} = \frac{100D^2n^2}{4D + 11b}.$$

Обозначения те же, что и для предыдущей формулы.

Для *спиральной* формы катушки, изображенной на рис. 5. 2, вычисление следует производить по формуле:

$$L_{\text{см}} = \frac{100D^2n^2}{4D + 11c},$$

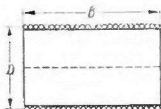


Рис. 5.1.



Рис. 5.2.



Рис. 5.3.

где D — средний диаметр в сантиметрах (высчитывается как среднее арифметическое между внутренним и внешним диаметрами катушки),
 n — число витков,
 c — радиальная глубина катушки (рис. 5. 2) в сантиметрах

$$\left(\text{равная } \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{2} \right).$$

Индуктивность катушек для общего случая многослойной катушки (по размерам, указанным на рис. 5. 3) вычисляется по формуле:

$$L_{\text{см}} = \frac{80D^2n^2}{3D + 9b + 10c}.$$

Здесь D — средний диаметр катушки $\left(D = \frac{D_{\text{max}} + D_{\text{min}}}{2} \right)$ в сантиметрах,

b — осевая длина катушки в сантиметрах,

c — радиальная глубина катушки в сантиметрах, или, иначе говоря,

$$\text{толщина катушки, равная } c = \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{2}.$$

Во всех этих эмпирических формулах диаметр провода не учитывается, так как его влияние при неизменных геометрических величинах обмотки весьма незначительно. Во всех катушках размещение витков по длине (и глубине) катушки предполагается равномерным. При катушках галетного типа катушки индуктивности, с достаточной для практики точностью, можно подсчитывать по формуле для многослойной катушки, считая размеры

по крайним точкам «габарита» намотки. Число витков берется неизменным в предположении, что все витки размещены равномерно по всему занимаемому ими габариту.

Для очень грубых прикидок величины индуктивности многослойных катушек можно пользоваться следующей формулой:

$$L_c = \frac{P^2}{4c},$$

где P — полная длина всего намотанного на катушку провода в сантиметрах,

c — радиальная толщина намотки в сантиметрах:

$$c = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2}.$$

Надо иметь в виду, что ошибка при подсчете индуктивности по этой формуле может быть очень велика.

Если известно число витков многослойной катушки, то порядок величины индуктивности можно определить по формуле:

$$L_{\text{см}} = 10 \cdot D_{\text{ср}} \cdot n^2,$$

где $D_{\text{ср}}$ — начальный (внутренний) диаметр намотки в сантиметрах,
 n — число витков.

ОДНОСЛОЙНЫЕ КАТУШКИ

Этот тип намотки в настоящее время получил чрезвычайно широкое распространение, в особенности для коротковолнового и средневолнового радиовещательных диапазонов. Основные свойства однослойных катушек — большая добротность (очень малое затухание), очень малая собственная емкость, удобство изготовления, возможность весьма точного расчета и легкость выпуска серии совершенно идентичных по своим качествам катушек, что играет немаловажную роль при спаривании управления настройки нескольких контуров на одной оси.

Рассмотрим поэтому более подробно расчет однослойных катушек. Приведенная (на стр. 185) формула универсального типа дает возможность подсчитать индуктивность однослойной катушки с точностью порядка 2—5% только для тех случаев, когда диаметр катушки и длина намотки не отличаются друг от друга более чем в 5 раз. Более общей является весьма широко распространенная формула, известная под названием «формулы Нагаока» (более правильно следовало бы ее называть «формулой Дебре с поправочным коэффициентом, вычисленным Нагаока»).

Основной вид этой формулы:

$$L_{\text{см}} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2 \cdot k}{l}$$

где D — диаметр катушки в сантиметрах,

n — полное число витков,

l — длина намотки в сантиметрах;

k — поправочный коэффициент (Нагаока), значение которого дается отдельной таблицей, так как вычислить этот коэффициент по соответствующим формулам весьма сложно и утомительно.

Этот поправочный коэффициент учитывает, какая часть магнитных линий отдельных витков катушки пересекает другие витки, и поэтому зависит

только от формы катушки, иначе говоря, от отношения диаметра катушки к длине намотки.

Поправочный коэффициент, даваемый во всех справочниках и учебниках, составлен обычно в предположении, что намотка ведется проводом прямоугольного сечения и витки расположены вплотную друг к другу (т. е. как будто без изоляции). При намотке вплотную эмалированным проводом этот поправочный коэффициент дает чрезвычайно близкие результаты. При намотке же проводом, имеющим весьма толстую изоляцию, или же с витками, расположенными на некотором расстоянии друг от друга, индуктивности катушки несколько уменьшаются.

Равным образом не учитывается формулой (и поправочным коэффициентом) неравномерное распределение тока в проводнике, зависящее от частоты тока.

Формула дает весьма точные результаты для токов низкой частоты, распределяющихся равномерно по всему сечению провода.

На стр. 189 даем табл. 5.2 вычисленных поправочных коэффициентов.

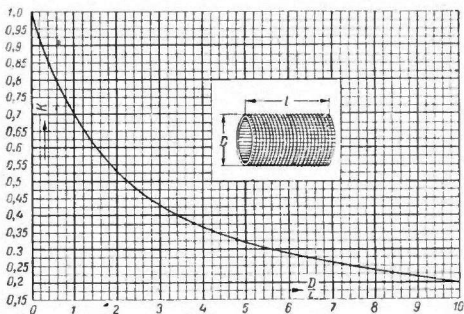


Рис. 5.4.

Характер изменения коэффициента k показан на графике (рис. 5.4), дающем значения коэффициента до значения $\frac{D}{l}$, равного 10. Для наиболее часто встречающихся катушек, т. е. для однослойных катушек, у которых диаметр и длина намоток не отличаются друг от друга более чем в 4—5 раз, коэффициент k можно найти по следующей эмпирической формуле:

$$k = \frac{2,3}{2,3 + \frac{D}{l}},$$

Для определения коэффициента k формулы Нагаока

$\frac{D}{l}$	k	$\frac{D}{l}$	k	$\frac{D}{l}$	k	$\frac{D}{l}$	k
0,00	1,000	0,34	0,870	1,8	0,551	10	0,203
0,01	0,996	0,36	0,863	1,9	0,538	11	0,190
0,02	0,992	0,38	0,856	2,0	0,526	12	0,179
0,03	0,987	0,40	0,850	2,2	0,503	13	0,169
0,04	0,983	0,42	0,843	2,4	0,482	14	0,160
0,05	0,979	0,44	0,837	2,6	0,463	15	0,153
0,06	0,975	0,46	0,831	2,8	0,445	16	0,146
0,07	0,971	0,48	0,824	3,0	0,429	17	0,139
0,08	0,967	0,50	0,818	3,2	0,415	18	0,134
0,09	0,963	0,55	0,803	3,4	0,401	19	0,128
0,10	0,959	0,60	0,789	3,6	0,388	20	0,124
0,11	0,955	0,65	0,775	3,8	0,376	22	0,115
0,12	0,951	0,70	0,761	4,0	0,365	24	0,108
0,13	0,947	0,75	0,748	4,2	0,355	26	0,102
0,14	0,943	0,80	0,735	4,4	0,346	28	0,096
0,15	0,939	0,85	0,723	4,6	0,336	30	0,091
0,16	0,935	0,90	0,711	4,8	0,328	32	0,087
0,17	0,931	0,95	0,700	5,0	0,320	34	0,083
0,18	0,928	1,00	0,688	5,5	0,302	36	0,079
0,19	0,924	1,1	0,667	6,0	0,285	38	0,076
0,20	0,920	1,2	0,648	6,5	0,271	40	0,073
0,22	0,913	1,3	0,629	7,0	0,258	44	0,068
0,24	0,905	1,4	0,612	7,5	0,247	48	0,063
0,26	0,898	1,5	0,595	8,0	0,237	50	0,061
0,28	0,891	1,6	0,580	8,5	0,227	75	0,044
0,30	0,884	1,7	0,565	9,0	0,218	100	0,035
0,32	0,877			9,5	0,211		

где k — тот же поправочный коэффициент, который дан как в таблице, так и в графике рис. 5.4.

$\frac{D}{l}$ — отношение диаметра к длине намотки (обе величины должны быть выражены в одних и тех же единицах).

Таким образом формула Нагаока может быть приведена к весьма удобной форме, не требующей никаких вспомогательных таблиц:

$$L_{\text{см}} = \frac{23D^2n^2}{l \left(2,3 + \frac{D}{l} \right)},$$

Данные те же, что и во всех предыдущих формулах.

Формула этого типа сравнительно легко запоминается и удобна во всех «походных» условиях, так как для определения индуктивности заданной катушки не нужны справочники с таблицей поправочных коэффициентов.

Разбираемая выше основная формула для расчета однослойных катушек может быть дана и в некоторых других формах, представляющих те или иные удобства. Приведем основные варианты.

$$L_{\text{см}} = \pi^2 D^2 n_0 k,$$

Здесь D — диаметр намотки в сантиметрах,

n — полное число витков,

n_0 — число витков на 1 см длины намотки,

k — тот же поправочный коэффициент Нагаока (рис. 5-4.)

Основная формула Нагаока приводится во всех книгах и журналах обычно в своей первоначальной форме, т. е.

$$L_{\text{см}} = \frac{\pi^2 D^2 n^2 k}{l}$$

(размеры в сантиметрах), или, как это часто можно встретить,

$$L = 0,03948 \frac{a^2 n^2}{b} k,$$

где a — радиус катушки в сантиметрах,

n — число витков,

b — длина намотки, равная nd (где d — шаг намотки),

L — индуктивность в микрогенри,

k — тот же поправочный коэффициент Нагаока (коэффициент 0,03948 вычислен, конечно, с ненужной точностью; его можно принять или за 0,0395, или за 0,039, или даже за 0,04).

Из рассмотрения первоначальной формулы легко сделать вывод, что всю формулу можно разбить на две части: зависящую и не зависящую от формы катушки, т. е. от отношения $\frac{D}{l}$.

Преобразуем формулу:

$$L_{\text{см}} = \frac{\pi^2 D^2 n^2}{l} k = \pi^2 D \left(\frac{D}{l} \right) n^2 k = (Dn^2) \left(\pi^2 \frac{D}{l} k \right).$$

Помещенное во вторых скобках выражение включает в себя числовые коэффициенты и зависит только от отношения диаметра катушки к длине намотки. Обозначим выражение, помещенное во вторых скобках, через k_0 . Вычислив этот новый поправочный коэффициент в табличной или графической форме, получим максимально упрощенную формулу Нагаока, чрезвычайно удобную для быстрых подсчетов:

$$L_{\text{см}} = Dn^2 k_0$$

Еще раз напомним, что числовые значения этого нового поправочного коэффициента будут совсем иными, чем в основной формуле Нагаока. Характер изменения и цифровые величины этого коэффициента k_0 даны на рис. 5. 5.

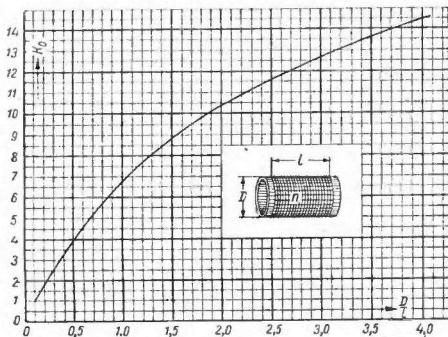


Рис. 5.5.

Этот коэффициент с достаточно большим приближением может быть высчитан по такой эмпирической формуле:

$$k_0 = \frac{10}{\frac{l}{D} + 0,44}.$$

В этой формуле первый член знаменателя дает отношение длины катушки к диаметру; т. е. величину, обратную ранее встречавшемуся отношению $\frac{D}{l}$.

Комбинацию двух последних формул мы и рекомендуем как наилучшую «походную» (для запоминания, записи в блокнот и пр.) формулу расчета индуктивности однослойных катушек:

$$L_{см} = \frac{10Dn^2}{\frac{l}{D} + 0,44}$$

индуктивность и все размеры — в сантиметрах.

Поправка на шаг намотки

Все приведенные выше формулы выведены в предположении сплошной намотки, т. е. что витки провода не имеют изоляции и укладываются вплотную друг к другу. Практически эти формулы дают достаточную точность (ошибка не более 2—3%) для всех случаев сплошной намотки изолированным проводом, и лишь в тех случаях, когда виток от витка укладывается на некотором расстоянии, можно вычислять поправку на шаг намотки. Однако этот поправочный член вносит изменения подсчитанной индуктивности не более 1—2%. Окончательная величина индуктивности катушки:

$$L_0 = L - L',$$

где L_0 — окончательный результат в сантиметрах,

L — индуктивность, вычисленная по основным формулам, в сантиметрах,

L' — поправочный член, зависящий от шага намотки l и диаметра провода d .

Поправочная часть индуктивности:

$$L' = 6,28 D n (A + B),$$

где D — диаметр катушки в сантиметрах,

n — число витков,

L' — поправочная индуктивность в сантиметрах,

A — коэффициент, находимый из рис. 5.6,

B — коэффициент, определяемый по рис. 5.7.

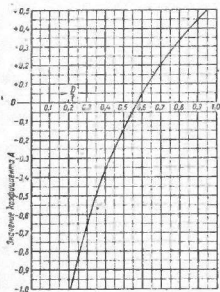


Рис. 5.6. График для расчета коэффициента A в зависимости от отношения $\left(\frac{D}{l}\right)$ диаметра провода к шагу замотки.

ИНДУКТИВНОСТЬ ЗАЭКРАНИРОВАННОЙ КАТУШКИ

Всякий короткозамкнутый виток или металлическая масса, находящаяся вблизи катушки, уменьшают индуктивность, так как возникающие

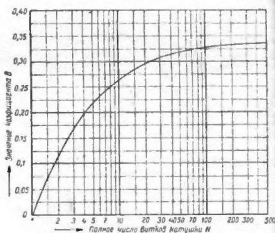


Рис 5.7. Величина коэффициента B в зависимости от числа витков.

в металле индуктивные токи создают магнитное поле, противоположное по знаку основному полю, создаваемому рабочими витками катушки. При

помещении катушки в экран взаимная индуктивность между витками катушки и короткозамкнутыми цепями (образуемыми экраном) также приводит к уменьшению индуктивности катушки.

Для экранировки катушек, работающих в цепях высокой частоты, применяются (во избежание чрезмерных потерь) экраны из хорошо проводящих немагнитных металлов. Практически наиболее ходовыми являются алюминий, латунь и в особо ответственных случаях медь. Потери, вносимые экраном, сравнительно невелики, расчет их довольно сложен; при катушках среднего качества и свободном экране потери можно не учитывать.

Уменьшение индуктивности катушки при установке экрана может быть подсчитано по упрощенной формуле:

$$L_a = L_0 \left[1 - \left(\frac{D_0}{D_a} \right)^2 \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{l_0}{2l_a} \right)^2 \right].$$

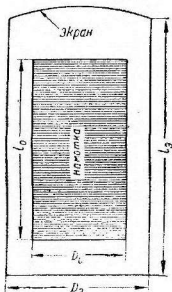


Рис. 5.8. Однослойная катушка в индивидуальном экране.

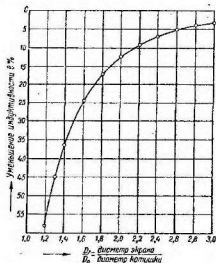


Рис. 5.9. Изменение индуктивности при разных экранах.

Размеры катушки и экранов, необходимые для подсчета по этой формуле; указаны на рис. 5. 8.

Здесь L_a — индуктивность катушки в экране,

L_0 — индуктивность намотки катушки без экрана в тех же единицах, что и L_a),

$\frac{D_0}{D_a}$ — отношение диаметра намотки к диаметру экрана (размеры в любых, но одинаковых единицах),

$\frac{l_0}{2l_a}$ — отношение длины намотки к удвоенной длине экрана (размеры в любых, но одинаковых единицах).

На рис. 5.9 показана связь между уменьшением индуктивности заэкранированной катушки и относительной величиной диаметра экрана.

Подсчет индуктивности готовой катушки решается сравнительно очень просто по любой из приведенных выше формул. Обратная же и как раз наиболее часто встречаемая в практике задача расчета катушки для работы в определенном диапазоне частот наталкивается на целый ряд затруднений. Рассмотрим прежде всего выполнение катушки определенной индуктивности для однослойной формы намотки.

Определенную величину индуктивности можно получить при самых разнообразных значениях: диаметра каркаса намотки D , диаметра провода d и числа витков n . Связь между этими величинами усложняется тем, что в формулу вводится коэффициент k (или k_0), зависящий (в сложной форме) от величины $\frac{D}{l}$. Если принять, что в определенных пределах (где диаметр

катушки и длина намотки не отличаются друг от друга более чем в 5 раз этот поправочный коэффициент может быть выражен в упрощенной форме).

$$k = \frac{2,3}{2,3 + \frac{D}{l}} \left(\text{или } k_0 = \frac{10}{\frac{l}{D} + 0,44} \right).$$

то уравнение, определяющее индуктивность, будет иметь (считая индуктивность заданной) три неизвестных: D , d , n . Если не задаваться вопросом конструирования катушки наилучшей добротности, то задачу можно решить, определив третью неизвестную величину при произвольно заданных двух остальных. Задача, однако, в значительной степени упрощается тем, что по конструктивным и прочим соображениям диаметр катушек имеет почти всегда одинаковое или известное значение. Можно считать, что катушки массовой и экспериментальной радиоаппаратуры имеют диаметр намотки, не превышающий 5 см; в большинстве случаев диаметр каркаса имеет около 3 см. Это относится к катушкам с воздушным сердечником, т. е. не имеющим железного сердечника. Катушки же с магнетитовым (или ферритовым) сердечником имеют диаметр намотки 4,0—1,5 см для любого диапазона частот.

Диаметр провода для намотки колеблется в сравнительно небольших пределах и очень часто известен заранее. Таким образом почти всегда отыскивается число витков n , причем рассматривается обычно несколько вариантов, зависящих от изменений диаметра провода и реже от выбора диаметра каркаса. Такая постановка вопроса облегчает решение задачи, но все же даже при упрощенных значениях k (или k_0) число витков входит в уравнение и в первой степени, и в квадрате. Находить для каждого рассматриваемого варианта решение квадратного уравнения, имеющего при указанных выше ограничениях вид:

$$10D^2n^2 - Ldn - 0,44LD = 0,$$

довольно затруднительно. Для облегчения этой работы автором составлены графики (рис. 5. 10—5. 18), дающие для каждого из применяемых практических диаметров каркасов зависимости L от числа витков и диаметра провода.

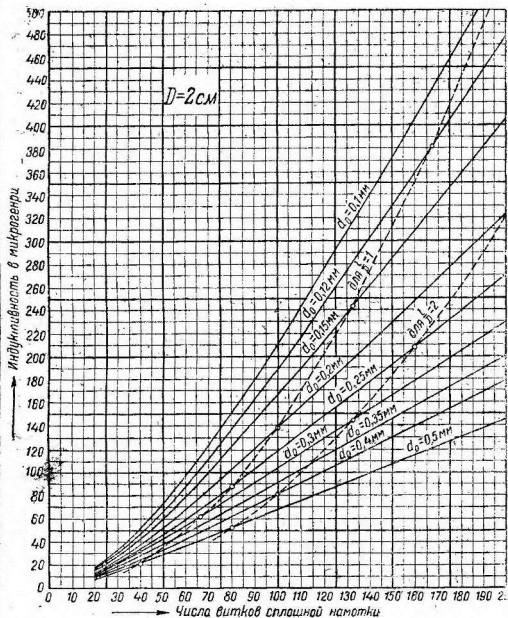


Рис. 5. 10. График для расчета индуктивности однослойной катушки сплошной намотки при диаметре каркаса 2 см (d_0 — диаметр провода в изоляции).

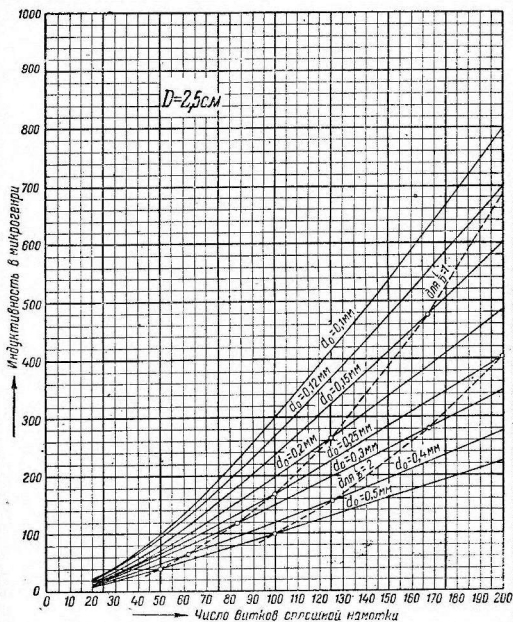


Рис. 5. 11. График для расчета индуктивности однослойной катушки при диаметре каркаса 2,5 см (d_0 — диаметр провода в изоляции).

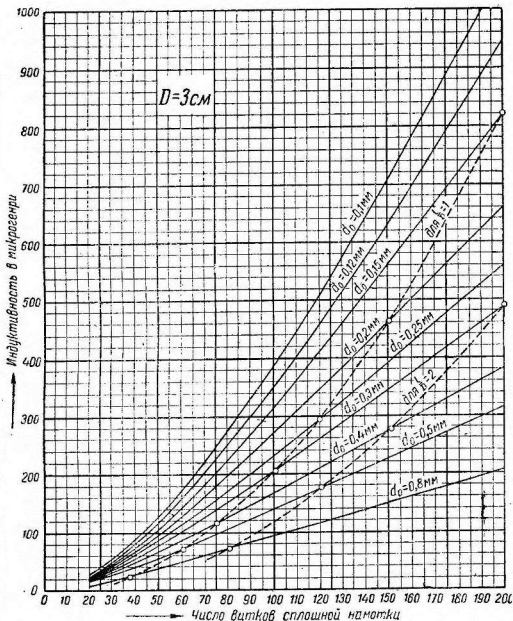


Рис. 5. 12. График для расчета индуктивности однослойной катушки при диаметре каркаса 3 см (d_0 — диаметр провода в изоляции).

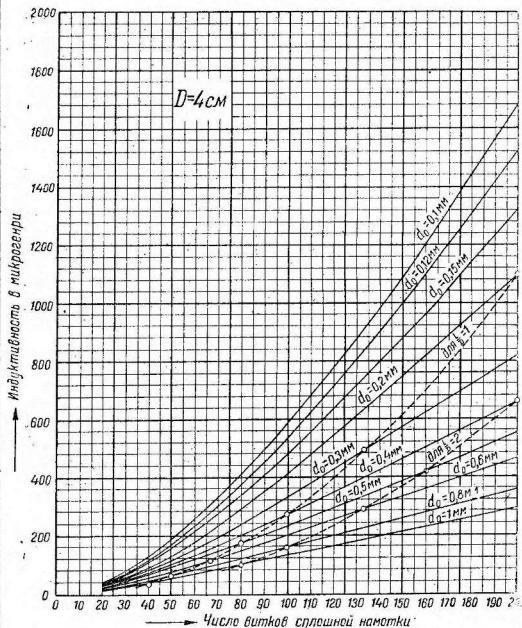


Рис. 5. 13. График для расчета индуктивности однослойной катушки при диаметре каркаса 4 см (d_0 — диаметр провода в изоляции).

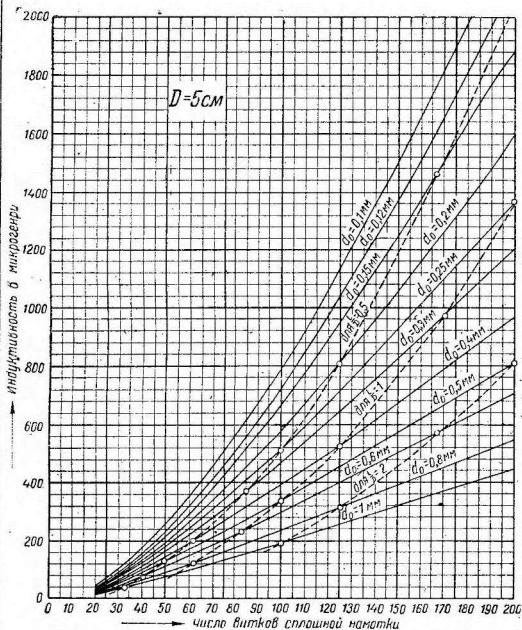


Рис. 5.14. График расчета индуктивности однослойной катушки при диаметре каркаса 5 см (d_0 — диаметр провода в изоляции).

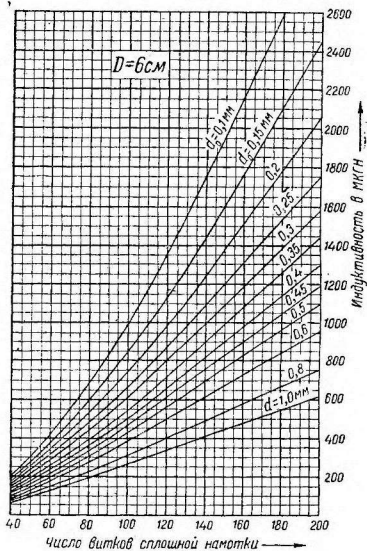


Рис. 5.15. Индуктивность однослойной катушки сплошной намотки диаметр $D=6 \text{ см}$.

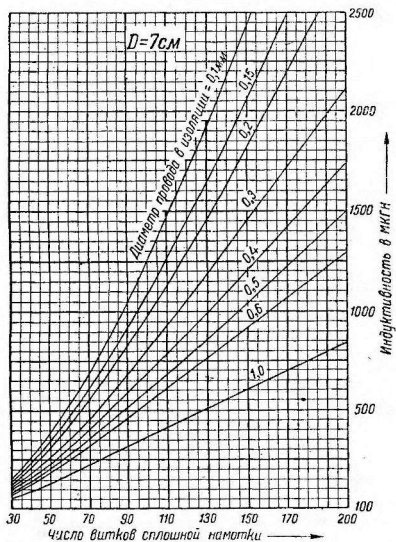


Рис. 5. 16. Индуктивность однослойной катушки сплошной намотки диаметром $D = 7 \text{ см}$.

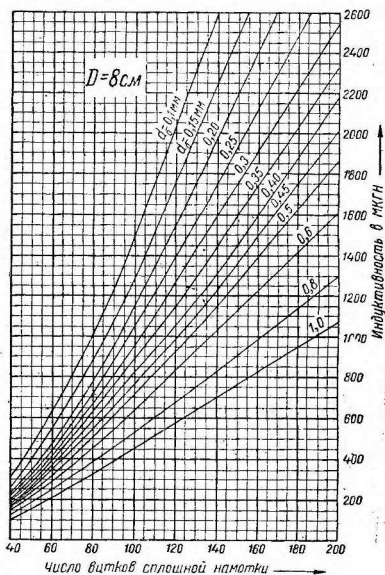


Рис. 5; 17. Индуктивность однослойной катушки сплошной намотки диаметром $D = 8 \text{ см}$.

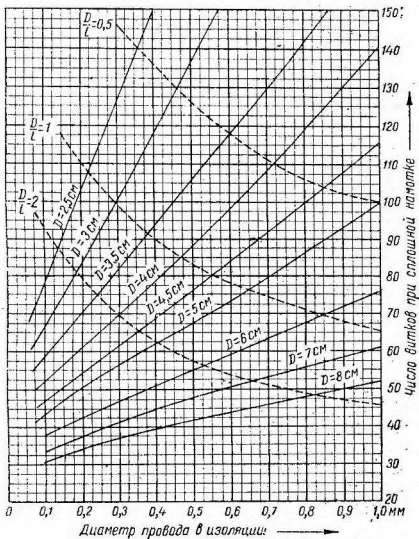


Рис. 5. 18. График для расчета однослойной катушки индуктивностью в 200 мкГн.

Для каждого отдельного диаметра катушки пришлось составить отдельный график. Вычисления производились для 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7 и 8 см, что охватывает почти все диаметры катушек, встречаемых на практике. В тех случаях, когда диаметр катушки не равен целому числу сантиметров, расчет следует произвести для ближайшего диаметра и затем число витков изменить обратно пропорционально диаметрам. Иначе говоря, на сколько процентов не подходит диаметр катушки, на столько же процентов надо изменить и число витков, но при уменьшении диаметра катушки число витков для получения той же индуктивности должно быть увеличено, при увеличении же диаметра катушки число витков соответственно уменьшается. Это приближенное правило дает вполне удовлетворительную точность. Диаметр провода задан с изоляцией, лучше всего его определять по числу витков, укладываемому при сплошной намотке на 1 см длины катушки.

При уменьшении диаметра провода витки сближаются, и индуктивность катушки при неизменном количестве витков увеличивается. Для получения неизменной величины индуктивности число витков необходимо изменять в том же направлении, что и диаметр провода, но простой зависимости указать нельзя, так как величина этих изменений зависит от изменения отношения $\frac{D}{l}$, имеющего место в данном случае. Обычно вполне достаточные

для практических расчетов результаты могут быть получены из графиков соответствующим делением «на-глаз» или пропорциональным делением участка числа витков между двумя соседними ближайшими по величине диаметрами проводов.

Если же приведенные графики не включают имеющегося задания, число витков можно определить, решив приведенное выше квадратное уравнение. Наиболее удобной формой для практических вычислений надо считать такую:

$$N = \frac{5Ld}{D^2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1,8D^2}{d^2L}} \right).$$

Здесь N — искомое число витков при сплошной намотке или при шаге намотки, равном d (миллиметров),

L — индуктивность в микрогенри,

d — диаметр провода в изоляции при сплошной намотке или шаг намотки в миллиметрах,

D — диаметр каркаса катушки в сантиметрах (при толстом проводе средний диаметр витков).

КАТУШКА в 200 000 см (200 мкн)

Приведенные графики не позволяют точных отсчетов при небольшом количестве витков. Чтобы не приводить еще такого же повторного количества графиков для этого нижнего диапазона индуктивностей, воспользуемся тем, что почти все расчеты радиовещательных контуров, предназначенных для приема средневолнового диапазона 200—600 м, сводятся обычно к расчету катушки, имеющей индуктивность порядка 200 000 см (от 170 000 до 220 000). Подгонка же катушки к требуемому диапазону до 1 витка выполняется обычно уже в рабочих условиях, так как волну контура в некоторых пределах меняет трудно учитываемая емкость монтажа установки.

Поэтому приводим один объединенный график, дающий всевозможные комбинации получения той же индуктивности в 200 000 см при различных диаметрах катушки и провода (рис. 5. 18). При небольших отношениях

от выбранной нами в качестве стандартной индуктивности в 200 000 см можно пользоваться следующим приближенным правилом: на сколько процентов требуется изменить индуктивность от величины 200 000 см, на столько же процентов следует изменить или число витков, или диаметр провода, или диаметр катушки. Следует помнить, что при увеличении числа витков или диаметра каркаса для намотки индуктивность увеличивается, а при увеличении диаметра провода — индуктивность уменьшается.

КОРТОКВОЛНОВЫЕ КАТУШКИ

В большинстве случаев катушки для коротковолнового диапазона имеют индуктивность от 500 до 30 000 см, причем намотка производится обычно не вплотную, а с промежутками (шаг намотки значительно больше диаметра провода). Для расчета таких катушек на рис. 5. 19—5. 21 приводим три

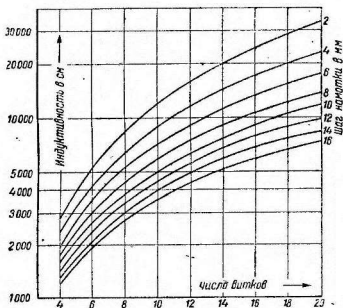


Рис. 5. 19. Индуктивность коротковолновой однослойной катушки при диаметре намотки $D = 8$ см.

графика, дающих зависимость между индуктивностью, диаметром катушки и шагом намотки (диаметр провода не играет существенной роли, если намотка производится не вплотную). Подбор катушки, числа витков или подсчет индуктивности производится по графикам для большинства встречающихся в практике конструкций без всяких дополнительных вычислений,

КОРЗИНОЧНЫЕ КАТУШКИ

Так называется (рис. 5.22) плоскоспиральная намотка на основании в виде круга с нечетным числом радиальных прорезей. Через каждый сектор раз-

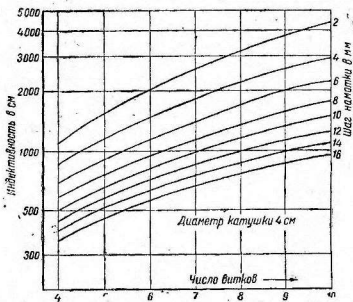


Рис. 5.20. Индуктивность коротковолновой однослойной катушки при диаметре намотки $D = 4$ см.

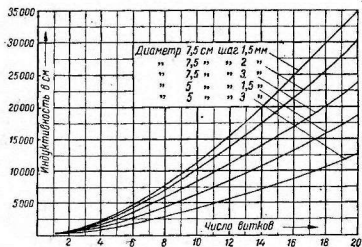


Рис. 5.21. Индуктивность коротковолновых однослойных катушек.

реза круга провод переходит с одной стороны плоского круга на другую. Индуктивность такой катушки определяется по формуле:

$$L_{\text{см}} = \frac{n^2 (D_2 + D_1)^2 k}{D_2 - D_1}.$$

Здесь n — полное число витков (удвоенное число витков, расположенных на одну сторону круга намотки),
 D_2 — внешний диаметр намотки (диаметр наибольшего крайнего витка) в сантиметрах,
 D_1 — диаметр внутреннего начального витка в сантиметрах,
 k — поправочный коэффициент.

Значения этого коэффициента k приведены в табл. 5.3.

Наилучшим соотношением как для катушек корзиночного типа, так и вообще для плоских спиральных намоток является:

$$D_2 = 2D_1,$$

т. е. когда последний виток имеет вдвое больший диаметр по сравнению с первым.

Таблица 5.3

Поправочный коэффициент k для корзиночных катушек

$\frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1}$	0	0,2	0,5	0,8	1,0	2	5	8	10
k	4,9	4,5	4,0	3,6	3,4	2,6	1,6	1,2	1,0

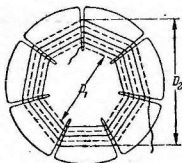


Рис. 5.22.

ТОРОИДНЫЕ КАТУШКИ

Чаще всего приходится встречаться с тороидной катушкой, представляющей сплошную намотку на замкнутом (рис. 5.23) кольце, имеющем в сечении круг. Индуктивность такого «тороида» с круглым сечением может быть определена по формуле:

$$L_{\text{см}} = 6,28n^2 (D - \sqrt{D^2 - d^2}),$$

где n — полное число витков тороида.

D — средний диаметр тороида (кольцо, на котором производится намотка) в сантиметрах,

d — диаметр отдельного витка в сантиметрах.

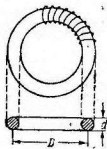


Рис. 5.23.

СОТОВЫЕ КАТУШКИ

Под сотовой намоткой подразумевается такая зигзагообразная обмотка, при которой витки отдельных слоев намотки ложатся друг на друга под углом, в результате чего величина собственной емкости такой катушки

делается сравнительно очень малой (от 15 до 45 см, т. е. больше, чем у однослойной катушки, но меньше, чем у обычной многослойной). Сотовая намотка в радиолюбительской практике выполняется обычно на болванке между двумя рядами спиц (на заводах обмоточные машины мотают катушки без спиц). Правильной намоткой считается такая, когда шаг намотки (число спиц, пропускаемых при переходе провода с одного ряда спиц на другой) все время остается неизменным. Между числом спиц и шагом намотки в этом случае должно существовать следующее соотношение:

$$\frac{h+1}{t} = \text{целое четное число,}$$

где h — полное число спиц в одном ряду, ?

t — шаг обмотки, принимаемый как разность номеров спиц, огибаемых проводом при переходе с одной стороны на другую (оба ряда спиц нумеруются одинаково).

Шаг обмотки принимается обычно равным 4—7, число спиц в ряду около 30 (нечетное, как это следует из вышеприведенной формулы). Число витков в одном слое (считая за начало второго слоя повторное попадание провода на первую спицу) равно $2t$. Число витков сотовой катушки $N = 2\pi t$ (t — шаг намотки, π — число слоев), ширина сотовой намотки, иначе говоря, расстояние между обоями рядами спиц, берется в пределах 2—2,5 см, диаметр болванки, определяющий внутренний диаметр катушки, — от 4,5 до 5,5 см. Эти небольшие отклонения от стандартных размеров очень облегчают пользование сотовыми катушками, так как величина их индуктивности зависит, главным образом, от числа витков и лишь в очень незначительной степени от числа спиц шага намотки.

Ориентировочный подсчет индуктивности стандартной сотовой катушки может быть сделан по такой упрощенной формуле:

$$L_{cm} = 10Dn^2,$$

где D — средний диаметр катушки в сантиметрах, определяемый как сумма внутреннего диаметра катушки и толщины намотки. Этот средний диаметр катушки для многих сотовых катушек обычно близок к 5 см, поэтому приближенной формулой можно считать легко запоминающееся правило:

$$L_{cm} = 50n^2.$$

Основные преимущества сотовых катушек — компактность и небольшая собственная емкость (в среднем можно принимать равной 30 см). Сотовые катушки обычно монтируются на штупсельной вилке и поэтому особенно пригодны в установках, где часто приходится сменять катушки и подбирать наивыгоднейшее число витков. Многие годы сотовые катушки очень широко применялись и в радиовещательных приемниках, работавших на сменных катушках; они были введены в общесоюзный стандарт (ОСТ 980).

По своей добротности сотовые катушки стоят весьма низко. Так, действующее сопротивление сотовой катушки в несколько раз больше действующего сопротивления однослойной катушки, намотанной из того же провода. За последние годы стандартные сотовые катушки потеряли свою прежнюю значимость, однако тип намотки (сотовой или несколько отличающейся от нее универсальной) сохраняет свое значение и применяется для катушек с диаметром каркаса от 1,0 см. В табл. 5. 4 приводим данные сотовых катушек. Величины, указанные в отдельных графах таблицы, представляют собой «средние» значения этих данных, так как возможны изменения в диаметре провода, качестве каркаса и изоляции, плотности намотки, числе спиц и пр

Таблица 5.4

Стандартные сотовые катушки

Число витков	Индуктивность по формуле $L_{см} = 50 n^2$ в см	Длина волны при конденсаторе в м				Собственная емкость катушки в см	Приблизительная длина провода на- мотки в м	Сопротивление про- вода при постоян- ном токе в ом	Действующее сопро- тивление при средней частоте перемагнива- емого диапазона в ом
		0 см (собст- венная вол- на)	50 см	250 см	500 см	750 см			
25	31 250	65	105	190	255	310	35	4	4
35	61 250	105	150	265	365	430	45	6	6
50	125 000	155	210	380	510	620	40	9	10
75	281 000	200	310	560	770	930	35	14	16
100	500 000	260	410	750	1020	1250	35	20	25
125	781 000	330	510	940	1290	1575	35	25	32
150	1 125 000	370	600	1120	1525	1875	30	30	41
175	1 530 000	430	690	1300	1775	2200	30	35	48
200	2 000 000	490	795	1490	2050	2500	30	40	55
250	3 125 000	610	990	1850	2550	3100	30	52	80
300	4 500 000	670	1200	2250	3100	3750	25	63	90
400	8 000 000	900	1500	3000	4100	5000	25	85	110

ИНДУКТИВНОСТЬ ОДИНОЧНОГО КОРОТКОГО ПРОВОДА

Ориентировочно можно считать, что на каждый метр длины одиночного (уединенного от других проводников) провода приходится около 2000 см индуктивности. В практике ультракоротких волн величину индуктивности провода более точно вычисляют по формуле:

$$L_{см} = 2l \left(\ln \frac{4l}{d} - 1 \right),$$

где $L_{см}$ — индуктивность одиночного прямолинейного провода в сантиметрах,
 l — длина этого провода в сантиметрах,
 d — диаметр провода в сантиметрах.

Индуктивность одиночного провода вычисляется по приведенной формуле при том предположении, что остальная часть цепи (несущая обратный ток) находится далеко, и взаимной индукцией их можно пренебречь.

В табл. 5.5 приводим уже вычисленные по этой формуле значения индуктивностей.

В графической форме рассматриваемая зависимость показана на рис. 5.24:

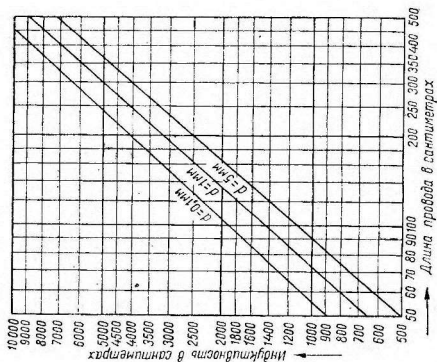


Рис. 5. 24. Индуктивность (коэффициент самондукции) прямого одиночного провода в зависимости от его длины и диаметра.

Таблица 5. 5

Длина провода в м	Индуктивность L при диаметре провода в см				Длина провода в м	Индуктивность L при диаметре провода в см			
	$d = 0.5$ мм	$d = 1.0$ мм	$d = 2.0$ мм	$d = 5$ мм		$d = 0.5$ мм	$d = 1.0$ мм	$d = 2.0$ мм	$d = 5$ мм
0,1	114	99,8	86	67,6	1,5	2520	2310	2100	1830
0,2	255	227	200	163	1,75	2990	2750	2510	2185
0,3	407	366	324	269	2,0	3480	3190	2920	2550
0,4	565	510	455	382	3,0	5450	5030	4600	4070
0,5	729	660	591	499	4,0	7500	6950	6400	5660
0,6	898	815	731	620	5,0	9600	8900	8210	7290
0,7	1068	970	874	746	6,0	11700	10900	10070	8960
0,8	1242	1130	1020	874	7,0	13900	12900	11900	10700
0,9	1420	1290	1170	1005	8,0	16100	15000	13900	12400
1,0	1600	1460	1320	1140	9,0	18300	17000	15800	14200
1,25	2050	1880	1710	1480	10,0	20600	19200	17800	16000

ИНДУКТИВНОСТЬ ДЛИННОГО ОДИНОЧНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРОВОДА

Этот случай относится к тому, когда проводник расположен горизонтально над землей и земля служит обратным проводом (можно применять и в случае антенны):

$$L_{\text{см}} = 2l \ln \frac{4h}{d},$$

где l — длина провода в сантиметрах,
 d — диаметр провода в сантиметрах,
 h — высота провода над землей в сантиметрах.

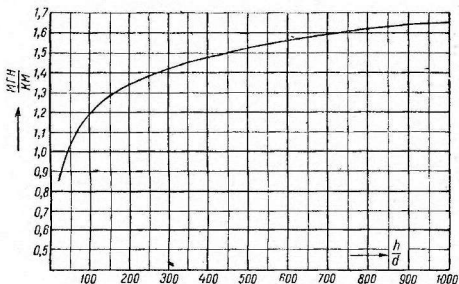


Рис. 5.25. Индуктивность 1 км линии.

Величины индуктивностей, приходящиеся на 1 км длины провода, подвешенного на различной высоте над землей, приведены на рис. 5. 25. Величина и изменения индуктивности линии, как видно из формулы, зависят только от отношения высоты подвеса к диаметру провода.

ИНДУКТИВНОСТЬ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

Индуктивность цепи, составленной из двух длинных параллельных проводов круглого сечения, определится из формулы:

$$L_{\text{см}} = 4l \ln \frac{2D}{d},$$

где l — длина провода в сантиметрах,
 D — расстояние между проводами в сантиметрах,
 d — диаметр провода в сантиметрах (если оба провода не одинаковые, берется среднее геометрическое $d = \sqrt{d_1 d_2}$).

На рис. 5. 26 показано, как изменяется величина индуктивности двухпроводной линии при изменении отношения $\frac{D}{d}$. Кривая дает значения ин-

дуктивности, отнесенные к 1 м длины линии. Из кривой видно, что уменьшение отношения $\frac{D}{d}$ меньше 50 вызывает быстрое уменьшение индуктивности. Коэффициент взаимной индукции параллельных проводов изменяется примерно в той же зависимости, что и емкость, поэтому с точки

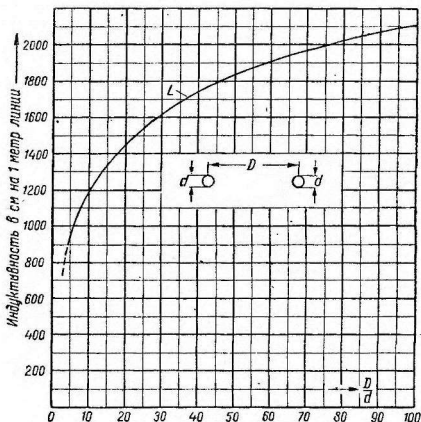


Рис. 5.26. Индуктивность 1 м двухпроводной линии:

зрения обеспечения минимальной связи между различными участками схемы монтажные провода следовало бы располагать друг от друга и от других деталей схемы на расстояниях, примерно в 100 раз превышающих диаметр проводов. При обычных же размерах радиоаппаратуры это потребовало бы применения для монтажа и прочих целей провода порядка 0,1—0,05 мм, что, конечно, является несколько несуразным требованием точки зрения прочности монтажа.

В табл. 5.6 приводим некоторые числовые значения индуктивности, подсчитанные для разбираемого случая двух длинных параллельных проводов круглого сечения.

Данные таблицы подсчитаны на 1 м длины линии. Расстояние между проводами — D ; d — диаметр провода (обе величины должны быть выра-

жены в одинаковых единицах). Входящее в формулу отношение $\frac{2D}{d}$ показывает, во сколько раз расстояние между проводами больше радиуса провода.

Таблица 5.6

$\frac{D}{d}$	Индуктивность L на 1 м длины линии в см	$\frac{D}{d}$	Индуктивность L на 1 м длины линии в см
2,5	750	250	2590
5	1020	375	2750
10	1300	500	2890
25	1670	2500	3310
50	1940	5000	3780
125	2310	10000	3960

ИНДУКТИВНОСТЬ КРУГЛОГО ВИТКА

Индуктивность одиночного круглого витка (см. рис. 5.27) из провода круглого сечения определяется по формуле:

$$L_{\text{см}} = 6,28D \left(\ln \frac{8D}{d} - 2 \right),$$

где D — диаметр витка в сантиметрах,
 d — диаметр провода в сантиметрах.

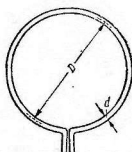


Рис. 5.27. Круглый одиночный виток (D — средний диаметр, d — диаметр провода).

Таблица 5.7

Радиус витка в см	Индуктивность L в см при диаметре провода				Радиус витка в см	Индуктивность L в см при диаметре провода			
	$d = 0,5 \text{ мм}$	$d = 1 \text{ мм}$	$d = 1,5 \text{ мм}$	$d = 2 \text{ мм}$		$d = 0,5 \text{ мм}$	$d = 1 \text{ мм}$	$d = 1,5 \text{ мм}$	$d = 2 \text{ мм}$
5	310	266	241	223	30	2540	2280	2120	2010
10	707	618	567	531	35	3030	2720	2550	2420
15	1140	1006	930	875	40	3530	3180	2980	2830
20	1590	1410	1310	1240	45	4040	3640	3410	3250
25	2060	1840	1710	1620	50	4550	4110	3850	3680

Для токов низкой частоты лучшие результаты получаются, если в скобках вместо «2» вычитать «1,75».

Точность формулы увеличивается при увеличении отношения $\frac{D}{d}$.

В табл. 5.7 приводим значения индуктивности для одиночных небольших размеров витков, намотанных из проводов различной толщины. Таблица подсчитана для низкочастотных токов, но ею можно пользоваться и для радиочастот. График рис. 5.28 составлен для высоких частот.

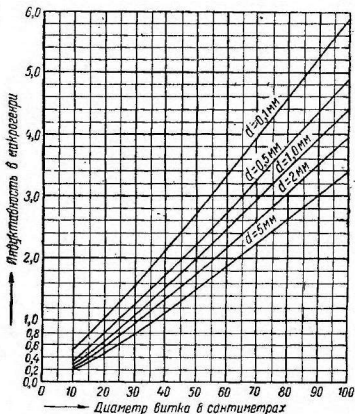


Рис. 5.28. Индуктивность круглого витка в зависимости от диаметра витка и диаметра провода.

ИНДУКТИВНОСТЬ КВАДРАТНОГО И МНОГОУГОЛЬНОГО ВИТКОВ

Вычисление индуктивности одиночного квадратного витка из провода круглого сечения производится по формуле:

$$L_{\text{см}} = 8a \left(\ln \frac{2a}{d} - 0,77 \right),$$

где a — сторона квадрата в сантиметрах,
 d — диаметр провода в сантиметрах.

Приводим табл. 5. 8 значений индуктивности, вычисленных для различных размеров квадратного витка при разных диаметрах провода.

Индуктивность различных правильных многоугольников обычно принимается равной индуктивности круга с диаметром, равным полусумме диаметров кругов, вписанных и описанных около заданного многоугольника.

Таблица 5. 8

Сторона квадрата в см	Индуктивность L в см			Сторона квадрата в см	Индуктивность L в см		
	$d = 1 \text{ мм}$	$d = 2 \text{ мм}$	$d = 4 \text{ мм}$		$d = 1 \text{ мм}$	$d = 2 \text{ мм}$	$d = 4 \text{ мм}$
10	385	327	271	50	2550	2280	2000
15	621	533	455	60	3150	2820	2490
20	875	764	653	70	3760	3370	2980
25	1140	999	860	80	4380	3940	3500
30	1410	1240	1080	90	5010	4520	4020
40	1970	1750	1530	100	5660	5100	4550

КАТУШКИ БОЛЬШОЙ ДОБРОКАЧЕСТВЕННОСТИ

Качество катушки характеризуется отношением ее индуктивного сопротивления к активному. Это соотношение $D = \frac{\omega L}{R}$ называется часто доброкачеством катушки или множителем напряжения.

Эта величина измеряется (или вычисляется) для рабочей частоты цепи. В указанном отношении $D = \frac{\omega L}{R}$.

$\omega = 2\pi f$ (f — частота в герцах),

L — индуктивность в генри; принимается постоянной, не зависящей от частоты,

R — полное активное сопротивление, представляемое катушкой в целом при данной частоте f .

Данное активное сопротивление R должно включать в себя целый ряд отдельных сопротивлений, соответствующих различным потерям: потери в проводе при прохождении по нему тока заданной частоты, потери на вихревые токи, образуемые в соседних проводах, потери в изоляции, разделяющей соседние проводники и образующей диэлектрик для междувитковых емкостей, потери в каркасе, на котором намотана катушка. В рабочей обстановке (катушка в схеме) сюда следует присоединять потери, вносимые экранами, близ расположенными проводниками и диэлектриками, включая и потери в конденсаторе настройки.

Величина полного активного сопротивления катушки может колебаться в весьма широких пределах. Для катушек средневолнового диапазона (200—600 м), имеющих индуктивность около 200 000 см, полное активное сопротивление может быть от 3—4 до 50 ом. Длинноволновые катушки, имеющие обычно около 2 000 000 см, обладают сопротивлением от 15 до 150 ом. Активное сопротивление катушки увеличивается с увеличением частоты: равным образом с увеличением частоты увеличивается и величина индуктивного сопротивления катушки ωL . Поэтому указанный выше коэффициент доброкачественности $D = \frac{\omega L}{R}$ остается более или менее постоянным на

всем диапазоне, перекрываемом в нормальных условиях работы приемника, и может являться общим показателем качества данной катушки. По коэффициенту доброкачественности английский исследователь катушек Баттервортс (Batterworth) предложил в 1926 г. делить катушки на 4 класса:

I класс	—	коэффициент доброкачественности выше 200
II	»	» от 150 до 200
III	»	» 100 » 150
IV	»	» ниже 100

В табл. 5. 9 приведены соотношения, связывающие между собой все основные параметры, влияющие на качество контуров.

Таблица 5.9

Величина	Обозначение	Основное определение	В выражении через				
			D	R	r	d	δ
Доброкачественность (избирательность, тангенс фи, множитель усиления)	D	$\frac{\omega L}{r}$	—	$\frac{R}{\omega L}$	$\frac{\omega L}{r}$	$\frac{1}{d}$	$\frac{\pi}{\delta}$
Сопротивление контура (параллельное) при резонансе токов	R	$\frac{L}{Cr}$	$\omega L D$	—	$\frac{(\omega L)^2}{r}$	$\frac{\omega L}{d}$	$\frac{\pi \omega L}{\delta}$
Активное сопротивление (последовательное) цепи	r		$\frac{\omega L}{D}$	$\frac{(\omega L)^2}{R}$	—	$\omega L d$	$\frac{\delta \omega L}{\pi}$
Затухание цепи	d	$\frac{r}{\omega L}$	$\frac{1}{D}$	$\frac{\omega L}{R}$	$\frac{r}{\omega L}$	—	$\frac{\delta}{\pi}$
Логарифмический декремент затухания	δ	$\frac{\pi r}{\omega L}$	$\frac{\delta}{D}$	$\frac{\pi \omega L}{R}$	$\frac{\pi r}{\omega L}$	$d \pi$	—

Катушку с доброкачественностью свыше 200 сделать нетрудно, но эта катушка должна иметь размеры (порядка 8—10 см в диаметре), весьма неудобные для работы. Кроме того, чем выше доброкачественность катушки, тем

быстрее ухудшаются ее свойства от качеств конденсатора настройки соседних деталей в приемнике и малейшей электрической нагрузки контур. Указанные причины привели к тому, что после нескольких лет увлечения катушками с очень малыми потерями конструктора пришли к необходимости делать катушки в первую очередь удобные по размерам и конструкции. Современные катушки выполняются очень небольших габаритов, в большинстве случаев с индивидуальными экранами, стандартными по однородности данных и посредственного качества. Прекрасные параметры современных ламп позволяют получить все практически целесообразное усиление при небольшом количестве каскадов и при катушках самого последнего класса (IV класс с доброкачественностью ниже 100). Следует отметить, что катушки с очень большой доброкачественностью дают в полосе частот, занимаемых телефонной передачей (10 кГц), неравномерное усиление. Это сильно затрудняет получение прямолинейной частотной характеристики всего приемника в целом.

В настоящее время необходимость экранирования каскадов и катушек в отдельности привела к тому, что вся фабричная приемная радиоаппаратура пользуется катушками, имеющими малые размеры и сравнительно небольшую доброкачественность. Американская массовая приемная аппаратура имеет катушки диаметром от 1 до 3 см, дающие коэффициент доброкачественности порядка 100 и ниже. Европейский образец катушки имеет несколько большие размеры и немного повышенную доброкачественность, не поднимающуюся, однако, обычно выше пределов III класса.

Отдельные конструкции радиоприемников иногда содержат катушки первых двух классов, имеющих в диаметре до 7—8 см, но это связано с общим увеличением габаритов всего приемника и хотя и дает некоторый выигрыш в усилении, получаемом на каскад, но обычно усложняет всю конструкцию и управление. В многоламповых приемниках такие катушки не применяются.

Катушки высокого качества используются, однако, в некоторых специальных случаях, поэтому приведем несколько расчетных указаний для конструирования подобных катушек:

1. Наивыгоднейшее использование провода получается в случае однослойных катушек при условии $D = 2,5 l$, т. е. когда длина намотки меньше диаметра в 2,5 раза. При этом получается максимальная индуктивность, возможная при проводе данной длины (минимальное количество провода для получения заданной индуктивности). В приемниках не применяется.

2. Лучшей формой намотки для катушек, имеющих индуктивность меньше 1 000 000 см, является однослойная обмотка. Для больших индуктивностей несколько (незначительно) лучшие результаты показывает намотка секциями, состоящими из спиральных намоток толщиной в 1 виток.

3. Лучшие результаты дают катушки больших размеров. Практически удобными надо считать катушки, не превосходящие в диаметре 10—12 см. Подобные катушки применяются в волномерах и других специальных случаях, так как в приемниках для такой катушки потребовалось бы слишком большое пространство (детали, находящиеся от катушки на расстоянии, меньшем $1\frac{1}{2}$ диаметров, обычно сильно влияют на распределение магнитного поля катушки и ухудшают ее свойства).

4. Катушки с индуктивностью меньше 1000 мкГн получают большей доброкачественности при применении вместо сплошного провода многожильного канатика из изолированных жилок (литцендрата). Обычно используется литцендрат из 27, 49 или 81 эмалированных жилок диаметром по 0,1 мм или еще тоньше.

5. Для уменьшения потерь в каркасе его следует делать из высокосортного эбонита или из другого имеющего очень малые диэлектрические потери

материала. Лучше всего мотать обмотку из литцендрата на ребристом эбонитовом, стеклянном или фарфоровом каркасе. Чем меньше материала идет на каркас, тем лучше.

6. Катушки с индуктивностью в 300 000 см и ниже получаются лучшего качества, если намотка производится не вплотную, а с шагом, превышающим диаметр провода в $1\frac{1}{2}$ — 2 раза.

7. Для расчета наивыгоднейшего диаметра провода для намотки как однослойных, так и многослойных катушек законченных расчетных формул не существует, так как наивыгоднейший диаметр провода зависит от многих трудно учитываемых и взаимно влияющих друг на друга факторов.

Следует помнить, что точный подбор диаметра провода, формы катушки и шага намотки дает небольшое увеличение доброкачественности по сравнению с выгодами, обеспечиваемыми хорошим качеством материала и конструкции каркаса. Учет же формулой влияния окружающего монтажа, конечно, слишком затруднителен.

Обычно задаются заранее допустимым диаметром катушки, индуктивностью и рабочей частотой. По этим начальным данным по формулам и графикам, вычисленным упоминавшимся выше Беттервортсом, подбираются диаметр провода и шаг намотки, причем обычно приходится просчитывать несколько вариантов. Этот метод расчета не приводим ввиду его сложности и несовершенства. Вместо этого ниже приводим формулу для расчета сопротивления готовой катушки (сопротивление высокой частоты, вызываемое только потерями в меди).

Легкий каркас из хорошего диэлектрика добавляет к величине этого сопротивления около 20%.

8. Расчеты и лабораторные измерения показывают, что однослойные катушки с индуктивностью от 200 000 до 500 000 см следует мотать проводом, имеющим в диаметре от 0,3 до 0,6 мм. Многослойные катушки с индуктивностью порядка 2 000 000 см дают лучшие результаты при более тонких диаметрах (от 0,2 до 0,35 мм). При применении литцендрата сечение провода для получения максимальной доброкачественности может быть несколько увеличено. При более толстых проводах потери на вихревые токи увеличиваются настолько, что общее сопротивление катушки резко увеличивается и доброкачественность быстро падает. Характер изменения доброкачественности при изменении емкости настройки разбирать не будем (обычно доброкачественность уменьшается с увеличением длины волны).

Приводимые ниже формулы позволяют вычислить сопротивления катушек, соответствующие потерям в меди при токах заданной частоты. Эти формулы не учитывают наличия потерь в изоляции провода и в каркасе, на котором намотана катушка. При очень хороших качествах этих изолирующих материалов сопротивление, подсчитанное по нижеприводимым формулам, следует увеличить процентов на 25. При плохих материалах это сопротивление может быть увеличено даже в 2—3 раза (на 200—300%), а может случиться, и в 10 раз. В особенности это относится к тем материалам, которые впитывают в себя влагу. Сказанное подчеркивает, что вопрос о расчете «хорошей» катушки надо решать «комплексно». Не к чему рассчитывать с большой точностью оптимальный диаметр провода, наивыгоднейшее отношение диаметра к длине намотки и шаг намотки, дающие увеличение на лишние единицы процентов, когда неудачно выбранный каркас аннулирует все эти проценты и увеличит сопротивление, вносимое проводом, положим, вдвое.

По указанным причинам приводимый расчет сопротивления в проводах служит, главным образом, в ориентировочных и сравнительных целях при конструировании катушек с повышенной доброкачественностью. «Верить»

Таблица коэффициентов F и G

Таблица 5.10

$z = \frac{d_{\text{мш}} \sqrt{f_{\text{кшц}}}}{3}$	F	G	$z = \frac{d_{\text{мш}} \sqrt{f_{\text{кшц}}}}{3}$	F	G	$z = \frac{d_{\text{мш}} \sqrt{f_{\text{кшц}}}}{3}$	F	G
0,1	1,000	0,0000015	3,4	1,46	0,481	8,4	3,24	1,36
0,2	1,000	0,0000025	3,5	1,49	0,499	8,6	3,31	1,39
0,3	1,000	0,0001	3,6	1,53	0,516	8,8	3,38	1,43
0,4	1,000	0,0004	3,7	1,57	0,533	9,0	3,45	1,46
0,5	1,000	0,001	3,8	1,60	0,550	9,2	3,52	1,50
0,6	1,001	0,0020	3,9	1,64	0,567	9,4	3,59	1,53
0,7	1,001	0,0037	4,0	1,68	0,584	9,6	3,66	1,57
0,8	1,002	0,0063	4,1	1,72	0,601	9,8	3,73	1,61
0,9	1,003	0,0101	4,2	1,75	0,618	10,0	3,80	1,64
1,0	1,005	0,0152	4,3	1,79	0,635	11,0	4,15	1,82
1,1	1,008	0,0220	4,4	1,83	0,652	12,0	4,50	2,00
1,2	1,01	0,0306	4,5	1,86	0,669	13,0	4,86	2,17
1,3	1,02	0,0413	4,6	1,90	0,686	14,0	5,21	2,35
1,4	1,02	0,0541	4,7	1,94	0,703	15,0	5,56	2,53
1,5	1,03	0,0691	4,8	1,97	0,720	16,0	5,92	2,70
1,6	1,03	0,0863	4,9	2,01	0,738	17,0	6,27	2,88
1,7	1,04	0,106	5,0	2,04	0,755	18,0	6,62	3,06
1,8	1,05	0,127	5,2	2,11	0,790	19,0	6,97	3,23
1,9	1,06	0,149	5,4	2,18	0,826	20,0	7,33	3,41
2,0	1,08	0,173	5,6	2,25	0,861	21,0	7,68	3,59
2,1	1,09	0,197	5,8	2,32	1,896	22,0	8,03	3,76
2,2	1,11	0,221	6,0	2,39	1,932	23,0	8,39	3,94
2,3	1,13	0,246	6,2	2,46	1,967	24,0	8,74	4,12
2,4	1,15	0,271	6,4	2,53	1,00	25,0	9,09	4,29
2,5	1,18	0,295	6,6	2,60	1,04	30,0	10,9	5,18
2,6	1,20	0,318	6,8	2,67	1,07	40,0	14,4	6,95
2,7	1,23	0,341	7,0	2,74	1,11	50,0	17,9	8,71
2,8	1,26	0,363	7,2	2,81	1,14	60,0	21,5	10,5
2,9	1,29	0,384	7,4	2,88	1,18	70,0	25,0	12,3
3,0	1,22	0,405	7,6	2,95	1,22	80,0	28,5	14,0
3,1	1,35	0,425	7,8	3,02	1,25	90,0	32,1	15,8
3,2	1,39	0,444	8,0	3,09	1,29	100,0	35,6	17,6
3,3	1,42	0,463	8,2	3,17	1,32			

этим расчетам можно только в случае катушек, намотанных на минимальном количестве хорошего изолирующего материала. Катушка в рабочей схеме имеет другое, большее, сопротивление (экраны и пр.)

В заводских и лабораторных условиях действующее сопротивление катушек обычно не рассчитывается, а измеряется, так как это проще, быстрее и точнее.

Теоретические сопротивления, соответствующие потерям в меди, вычисляются по следующей формуле:

$$R_M = R_0 \left[F + \left(\frac{knd}{D} \right)^2 G \right].$$

В этой формуле

R_M — сопротивление потерь в меди в омах,

R_0 — сопротивление провода намотки при постоянном токе в омах;

n — число витков,

d — диаметр провода намотки в миллиметрах,

D — наружный диаметр намотки катушки в сантиметрах,

k , F и G — коэффициенты, приведенные в табл. 5. 10* (также табл. 5. 11 и 5. 12).

Коэффициент k зависит от формы намотки катушки и числа слоев. При небольшом числе слоев надо пользоваться приводимой табл. 5. 11.

В верхнем ряду указано соотношение $\frac{l}{D}$, т. е. числа, показывающего, какую часть от диаметра катушки D составляет длина намотки l . Таблица составлена только для катушек, у которых длина намотки не превышает диаметра катушки (большинство катушек, встречающихся на практике, укладывается обычно в этих пределах).

В табл. 5. 12 t — глубина намотки, l — длина намотки и D — наружный диаметр катушки (все выражены в одних и тех же единицах измерения).

В этой таблице строчка $\frac{l}{D} = 0$ относится к однослойным соленоидам, а стол-

бец $\frac{l}{D} = 0$ относится к галетным катушкам.

Остальные два коэффициента F и G берутся из таблицы 5. 10 и зависят от частоты f и диаметра провода d . Сперва вычисляется вспомогательная

величина z , равная $z = \frac{d_{\text{мм}} \sqrt{f_{\text{кГц}}}}{3}$, а затем по вычисленному z в табл. 5. 10

сразу находятся F и G . При вычислении z и диаметр провода и частота даны в единицах, наиболее часто встречающихся в практике (миллиметрах и килогерцах).

Если известна длина волны, то, чтобы не переводить ее в частоту, вспомогательный коэффициент z можно определить как

$$z = \frac{183d}{\sqrt{\lambda}}$$

(d — в миллиметрах, λ — в метрах).

Таблица 5.11

Соленоид с m слоями (определение k)

$m \backslash l/D$	0,125	0,25	0,375	0,5	1,0
1 слой	1,50	0,78	0,53	0,41	0,25
2 "	1,96	1,00	0,68	0,52	0,27
3 "	2,03	1,03	0,70	0,53	0,29
Больше 3	2,08	1,06	0,72	0,55	0,30

Таблица 5.12

Многослойные катушки (определение k)

$t, D \backslash l/D$	0,0	0,125	0,25	0,375	0,50	1,0
0,0	—	2,08	1,06	0,72	0,55	0,35
0,1	2,62	1,16	0,77	0,58	0,47	0,30
0,2	1,37	0,81	0,62	0,49	0,41	0,27
0,3	0,98	0,69	0,54	0,44	0,37	0,24
0,4	0,80	0,60	0,47	0,40	0,34	0,22
0,5	0,69	0,52	0,42	0,35	0,30	0,21

КОЭФИЦИЕНТ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ КАТУШЕК

Катушки, имеющие общий магнитный поток, называются связанными. Степень связи характеризуется коэффициентом взаимной индукции, выражаемым в генри (как и коэффициент индуктивности) и численно выражаемым (в генри) числом вольт, наводимых в одной из катушек при изменении тока, текущего в другой катушке с равномерной скоростью 1 а/сек. Коэффициент взаимной индукции является одинаковым для обеих катушек (в том смысле, что в любой из катушек будет наводиться соответствующее напряжение при прохождении тока в другой катушке).

Коэффициент взаимной индукции двух коаксиальных кругов подсчитывается следующим порядком.

Сперва вычисляется коэффициент A , равный:

$$A = \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \frac{D_2}{r_2^2}}{\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \frac{D_2}{r_2^2}}}$$

или, иначе:

$$A = \sqrt{\frac{(r_2 - r_1)^2 + D^2}{(r_2 + r_1)^2 + D^2}},$$

где r_1 — радиус меньшего круга в сантиметрах,

r_2 — радиус большего круга в сантиметрах,

D — расстояние между центрами обоих кругов в сантиметрах (рис. 5. 29).

Затем по данному A из табл. 5. 13 находится коэффициент k и, наконец, коэффициент взаимной индукции M находится по формуле:

$$M = k \sqrt{r_1 r_2}$$

(все размеры и коэффициент взаимной индукции в сантиметрах).

Две параллельные коаксиальные многослойные или однослойные катушки имеют коэффициент взаимной индукции, величина которого сравнительно точно может быть определена, как

$$M = n_1 n_2 M_0,$$

Рис. 5.29.

где n_1 — число витков одной катушки,

n_2 — число витков другой катушки,

M_0 — коэффициент взаимной индукции, подсчитанный указанным выше способом для двух кругов, взятых в центрах поперечного разреза обеих катушек — средних витков, расположенных в середине длины каждой катушки, имеющих радиусы, равные радиусам катушек при однослойной намотке или радиусам средних витков, высчитанных по формуле:

$$r_1 = \frac{r'_{\max} + r'_{\min}}{2}.$$

ВКЛЮЧЕНИЕ КОНЦОВ КАТУШКИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Весьма существенным при включении высокочастотного трансформатора или детекторного комплекта катушек с обмоткой обратной связи является правильное решение вопроса: куда какой конец обмоток должен быть присоединен.

Приводим на рис. 5. 30 правильное распределение концов обмоток. Этот чертеж относится равным образом и к трансформатору высокой частоты с двумя обмотками (анодная и сеточная контурная катушки) и к гетеродинному комплекту катушек (контурная сеточная катушка и катушка обратной связи). В обоих случаях включение концов должно производиться по одним и тем же правилам. На рис. 5. 30 показаны расположенные на одном каркасе две катушки, намотанные на каркасе в одинаковом направлении. Если рассматривать катушки с одного торца каркаса, то обе намотки при последовательном переходе с одной намотки на другую должны быть направлены или по часовой стрелке, или же в обратном направлении. Включение концов показано на самом чертеже, но дополнительным правилом может быть следующее: сеточный и анодный отводы катушек должны являться крайними разнесенными друг

A	k	A	k	A	k	A	k
0,010	50,2	0,16	15,9	0,50	3,97	0,85	0,457
0,011	49,0	0,17	15,2	0,51	3,80	0,86	0,448
0,012	47,9	0,18	14,5	0,52	3,64	0,87	0,363
0,013	46,9	0,19	13,9	0,53	3,49	0,88	0,318
0,014	46,0	—	—	0,54	3,34	0,89	0,277
0,015	45,1	0,20	13,3	—	—	—	—
0,016	44,3	0,21	12,7	0,55	3,20	0,90	0,239
0,018	42,8	0,22	12,2	0,56	3,05	0,91	0,202
—	—	0,23	11,7	0,57	2,91	0,92	0,168
—	—	0,24	11,2	0,58	2,78	0,93	0,136
0,020	41,5	0,25	10,8	0,59	2,65	0,94	0,107
0,022	40,3	0,26	10,4	—	—	0,950	0,0817
0,024	39,2	0,27	9,96	0,60	2,53	0,952	0,0761
0,026	38,2	0,28	9,57	0,61	2,41	0,954	0,0713
0,028	37,3	0,29	9,20	0,62	2,29	0,956	0,0666
—	—	—	—	0,63	2,18	0,958	0,0620
0,030	34,4	0,30	8,84	0,64	2,07	0,960	0,0576
0,032	35,6	0,31	8,50	0,65	1,96	0,962	0,0532
0,034	34,8	0,32	8,18	0,66	1,86	0,964	0,0490
0,036	34,1	0,33	7,86	0,67	1,76	0,966	0,0449
0,038	33,4	0,34	7,56	0,68	1,66	0,968	0,0409
—	—	—	—	0,69	1,57	—	—
0,040	32,8	0,35	7,27	0,70	1,43	0,970	0,0371
0,042	32,2	0,36	6,99	0,71	1,39	0,972	0,0334
0,044	31,6	0,37	6,72	0,72	1,31	0,974	0,0298
0,046	31,0	0,38	6,44	0,73	1,23	0,976	0,0264
0,048	30,5	0,39	6,21	0,74	1,15	0,978	0,0232
—	—	—	—	—	—	—	—
0,050	30,0	0,40	5,97	0,75	1,07	0,980	0,0200
0,060	27,8	0,41	5,74	0,76	1,00	0,982	0,0171
0,070	25,8	0,42	5,51	0,77	0,931	0,984	0,0143
0,080	24,2	0,43	5,30	0,78	0,863	0,986	0,0117
0,090	22,8	0,44	5,10	0,79	0,797	0,988	0,00926
—	—	—	—	—	—	—	—
0,10	21,5	0,45	4,89	0,80	0,735	0,990	0,00703
0,11	20,3	0,46	4,69	0,81	0,674	0,992	0,00502
0,12	19,3	0,47	4,50	0,82	0,616	0,994	0,00326
0,13	18,3	0,48	4,32	0,83	0,561	0,996	0,00172
0,14	17,4	0,49	4,14	0,84	0,508	0,998	0,00062
0,15	16,6	—	—	—	—	—	—

от друга концами намоток. Сближающиеся концы катушек (конец одной и начало другой) присоединяются к катоду и к плюсу анодного источника.

Данная схема действительна и для того случая, когда обратная связь дается от заменяющей анод экранированной сетки (в случае пентода или экранированной лампы).

Для случая многослойных намоток определяются начала и концы обеих катушек (при рассмотрении их намотки, выполненной в одинаковых направлениях), как это отмечено буквами *н* и *к* на рис. 5. 30. Следует помнить,

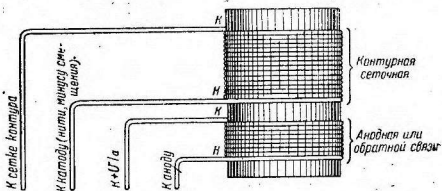


Рис. 5.30. Правильное включение концов катушек трансформатора высокой частоты или регенеративной лампы.

что если при сменных катушках перевернуть весь комплект катушек или одну из них, то включение концов не изменится (начала намоток сделаются концами и наоборот).

СОБСТВЕННАЯ ЕМКОСТЬ КАТУШЕК

Наличие собственной емкости у катушки изменяет ее действующую индуктивность и сопротивление. Если измерить индуктивность какой-либо катушки при очень низкой частоте, а затем повышать частоту, то фактическая индуктивность (так же, как и активное сопротивление) будет несколько увеличиваться с частотой. При частотах выше собственной частоты катушки катушка является уже не индуктивностью, а емкостью, действуя в схеме эквивалентно некоторому небольшому конденсатору. Собственной частотой катушки называется частота, на которую оказывается настроенной катушка, не включенная в схему (колебательный контур, состоящий из индуктивности намотки и собственной емкости, присоединенной параллельно).

Расчет собственной емкости многослойных катушек, а особенно высокочастотных дросселей весьма сложен (можно даже сказать — разработанных методов расчета вообще еще не существует).

Для однослойных катушек собственная емкость с достаточной для практических целей точностью может быть подсчитана по формуле:

$$C_0 = D \cdot B,$$

где C_0 — собственная емкость однослойной намотки в сантиметрах,
 D — диаметр намотки в сантиметрах,

B — коэффициент, зависящий от отношения шага намотки к диаметру провода $\frac{t}{d}$; этот коэффициент может быть определен из графика, приведенного на рис. 5. 31.

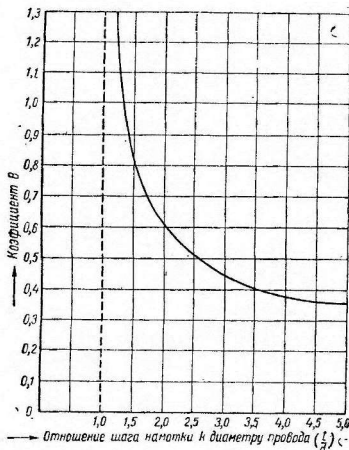


Рис. 5. 31. График для определения коэффициента B , учитывающего собственную емкость однослойной катушки.

Расчет этот относится к намотке проводом, имеющим изоляцию с диэлектрической постоянной, равной единице, однако практически расчет годен и для проводов с эмалевой и хлопчатобумажной изоляциями.

Для секционированной намотки (рис. 5. 32) вопрос усложняется тем, что могут существовать различные собственные частоты для отдельных секций и общая характеристика катушки может принять чрезвычайно сложную форму.

В этом случае вместо расчета приходится прибегать к измерениям. Указываем наиболее часто применяемый метод измерения.

Катушку, присоединенную к градуированному переменному конденсатору, настраивают на две точно известные длины волны. Эти отметки наносятся на сетку (рис. 5. 33), разграфленную таким образом, что по оси

абсцисс откладывается емкость конденсатора настройки а по оси ординат — квадраты длин волн. Обе эти шкалы должны начинаться от нулевых значений. Шкалу емкостей продолжают (в том же масштабе) влево от нуля емкости. Соединяя две отметки А и В, соответствующие двум настройкам контура, прямой линией, получим при продолжении этой прямой линии в точке К значение квадрата собственной длины волны катушки и в точке М — величину собственной емкости катушки. Если настройка производилась для катушки, включенной в работающий приемник, то собственная емкость также будет включать и емкость монтажа. Собственная длина волны также будет в этом случае увеличенной, так как в этом случае будет образована емкостью, состоящей из емкости катушки и монтажной емкости схемы (включая емкости ламп, но исключая начальную емкость конденсатора настройки). На рис. 5. 33 нанесена линия для двух измерений:

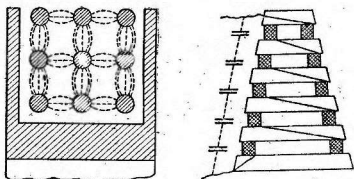


Рис. 5. 32.

точка А — при емкости конденсатора настройки в 60 см длина волны была равна 500 м;

точка В — при емкости конденсатора настройки в 145 см катушка оказалась настроенной на волну 700 м.

Как видно из графика, соединение точек А и В прямой линией отрезет на осях отрезки, соответствующие искомым ответным значениям:

1) собственная емкость катушки будет указана отрезком О — М, соответствующим емкости в 28 см;

2) собственная длина волны катушки будет указана отрезком О — К, соответствующим квадрату длины волны в 80 000 м².

Искомая собственная длина волны $\lambda_0 = \sqrt{80\,000} = 283$ м.

Влияние собственной емкости катушки на ее индуктивность приближенно может быть учтено формулой:

$$L_a = L \left(1 + 3,55 \frac{C_0 L}{\lambda^2} \right),$$

где L_a — кажущаяся индуктивность в микрогенри,

L — расчетная индуктивность в микрогенри,

C_0 — собственная распределенная емкость катушки в микро-микро-фарадах (эквивалентная емкость, включенная между концами обмотки),

λ — действующая длина волны в метрах.

Данная приближенная формула не учитывает небольшого влияния (на величину индуктивности) активного сопротивления обмотки. Расчет дей-

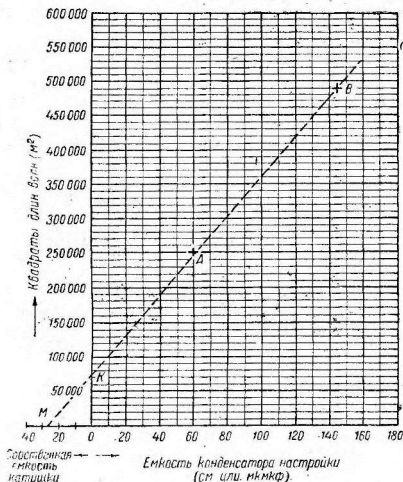


Рис. 5. 33. Графический способ определения собственной емкости катушки, градуированной на двух известных длинах волн.

ствителен для частот, достаточно отдаленных от собственной частоты обмоток.

КАТУШКИ С ЖЕЛЕЗНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Коэффициент индуктивности катушки, имеющей замкнутый железный сердечник, определяется следующей формулой:

$$L = \frac{1,26 \cdot N^2 \cdot S \cdot \mu \cdot 10^{-8}}{l_{ж}},$$

где L — коэффициент индуктивности в генри,
 N — число витков,
 S — сечение железного сердечника в кв. сантиметрах,
 $l_{ж}$ — средняя длина магнитного пути железного сердечника в сантиметрах,
 μ — магнитная проницаемость железа.

Если по виткам катушки не течет постоянный ток и коэффициент индуктивности катушки (дросселя или трансформатора) определяется только для переменной слагающей с незначительной амплитудой (случай, часто встречающийся при расчете предварительных каскадов усилителя), то μ можно брать порядка 400. При наличии подмагничивающего тока величина μ (для малых значений переменной составляющей эта величина называется начальной магнитной проницаемостью и обозначается через μ_0) несколько уменьшается. В расчетную формулу надо подставлять значения μ_0 , получаемые по кривой рис. 5. 34. Величина подмагничивающих ампервитков AW_0 относится к 1 см магнитного пути. Например, по обмотке дросселя, имеющего 10 000 витков, намотанных на сердечник из пластин Ш-20, протекает постоянный ток в 6 ма. Подмагничивающие ампервитки AW_0 равны:

$$AW_0 = \frac{I_a N}{l_{ж}} = \frac{0,006 \cdot 10\,000}{20} = 3 \frac{AW}{см},$$

что по кривой рис. 5. 34 соответствует начальной магнитной проницаемости $\mu_0 = 135$.

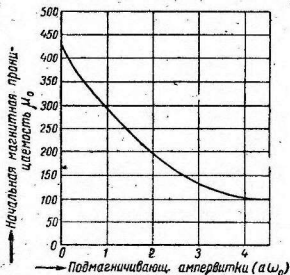


Рис. 5. 34. Зависимость начальной магнитной проницаемости от подмагничивающих ампервитков.

Если переменная составляющая имеет значительную величину (от 0,1 и до 1 переменных ампервитка на 1 см), то магнитная проницаемость μ может быть определена по экспериментальным кривым рис. 5. 35, составленным для часто встречающегося уральского трансформаторного железа.

Магнитная проницаемость, как видно из кривых рис. 5. 35, зависит и от переменных, и от постоянных ампервитков.

На рис. 5. 36 даны числа ампервитков, необходимых для создания магнитной индукции как в железе, так и в воздушном зазоре. Обращаем

внимание на то, что цифры нижних шкал дают числа ампервитков на 1 см пути в железе и на 0,01 см пути для воздушного зазора. Для уменьшения искажений трансформаторы и дроссели низкой частоты должны работать при значениях магнитной индукции B , не превышающих 5000—6000 гс. Сильные трансформаторы могут иметь индукцию от 6000—7000 до 10 000 гс.

Практически при расчете дросселя часто приходится решать обратную задачу: по известной (заданной) индуктивности L надо определить необходимое число витков. Для решения этой задачи основную формулу катушки с железным сердечником (без тока подмагничивания) удобнее будет представить в виде:

$$L_0 = \frac{N^2 \left(\frac{S_{см}}{l_{см}} \right)}{200\,000},$$

где L_0 — индуктивность в генри,
 N — число витков,
 S — сечение железного сердечника в кв. сантиметрах,
 l — длина (средняя) магнитного пути (μ — для дросселя без тока подмагничивания принято равным 400). Отношение $\frac{S_{см}}{l_{см}}$ для всех практических случаев колеблется обычно от 0,2 до 0,4. Расчет становится, таким образом, довольно простым. Число витков можно определять по следующей упрощенной формуле (для работы без подмагничивающего тока):

$$N = 450 \sqrt{\frac{L_{гн} l_{см}}{S_{см}}}$$

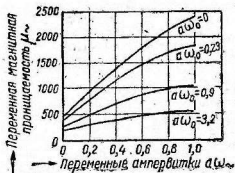


Рис. 5. 35. Зависимость переменной магнитной проницаемости от переменных и постоянных ампер-витков.

Для упрощения расчетов на рис. 5. 37 приводим графики для расчета индуктивности дросселей при различных величинах отношения $\frac{S}{l}$.

Пример. Дроссель с сечением сердечника 6 см^2 на железе Ш-20 (длина магнитной линии 20 см) должен иметь 30 гн. Найти необходимое число витков.

Решение. Подсчитываем предварительно соотношение $\frac{S}{l}$, равное $\frac{6\text{ см}^2}{20\text{ см}} \approx 0,3$. Теперь по графику рис. 5. 37 на линии для $\frac{S}{l} = 0,3$ сразу находим ответ: для индуктивности в 30 гн. необходимо 4500 витков.

При токе подмагничивания индуктивность дросселя несколько уменьшается. Ориентировочно можно учитывать уменьшение по следующей таблице 5. 14.

Таблица 5. 14

	$0,5 \frac{AW}{\text{см}}$	$1 \frac{AW}{\text{см}}$	$1,5 \frac{AW}{\text{см}}$	$2 \frac{AW}{\text{см}}$	$3 \frac{AW}{\text{см}}$	$4 \frac{AW}{\text{см}}$
K	0,8	0,65	0,53	0,45	0,32	0,24

В этой таблице K — коэффициент уменьшения самоиндукции; $L = L_0 K$, (L_0 — индуктивность по графику рис. 5. 37, а K берется из таблицы в зависимости от числа ампервитков, приходящихся на 1 см длины магнитного потока).

Данный расчет годен при небольших величинах переменной составляющей. При увеличении же переменной составляющей индуктивность будет увеличиваться, что практически всегда является выгодным.

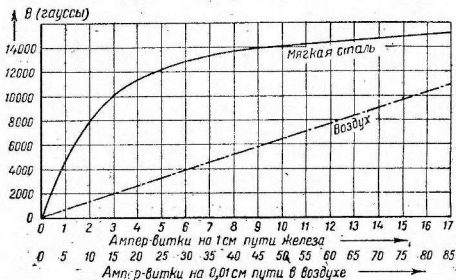


Рис. 5.36. Зависимость индукции от подмагничивающих ампервитков.

При большом подмагничивающем токе, создающем более четырех подмагничивающих ампервитков на 1 см магнитного пути железного сердечника, необходимо делать воздушный зазор.

С вполне достаточной для радиотехники точностью расчет длины воздушного зазора можно производить по формуле:

$$l_B = \frac{10 I_{ж} + I_a N}{1000}.$$

Здесь l_B — длина воздушного зазора в миллиметрах; этот зазор является оптимальным, т. е. создающим максимальный коэффициент индуктивности при неизменных прочих условиях (сечении, числе витков, подмагничивающем токе и пластинках),

$l_{ж}$ — длина среднего магнитного пути железного сердечника в сантиметрах,

I_a — подмагничивающий (анодный) постоянный ток в амперах,

N — число витков.

Коэффициент индуктивности дросселя, имеющего воздушный зазор, для малых амплитуд переменной составляющей определится формулой:

$$L = \frac{1,3 \cdot S_{ж} \cdot N^2 10^{-8}}{l_{ж} \left(\frac{1}{\mu} + \frac{l_B}{l_{ж}} \right)},$$

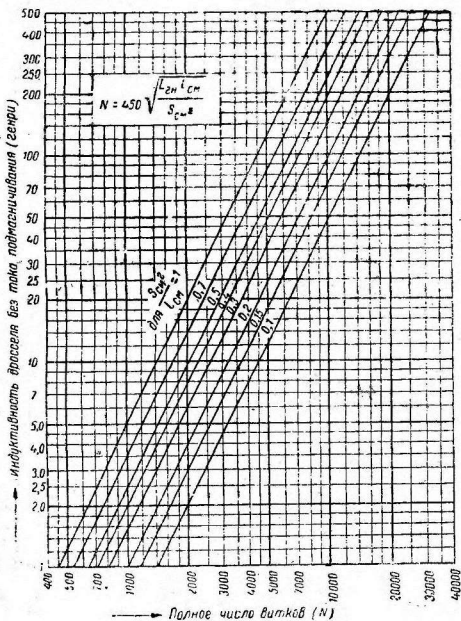


Рис. 5. 37. График для расчета числа витков дросселя или трансформатора низкой частоты.

где L — коэффициент индуктивности в генри,
 $S_{ж}$ — сечение сердечника в сантиметрах,
 N — число витков,
 $l_{ж}$ — средняя длина магнитного пути в сантиметрах,
 $l_{в}$ — длина воздушного зазора в сантиметрах,
 μ — магнитная проницаемость.

РАДИОЧАСТОТНЫЕ КАТУШКИ С ЖЕЛЕЗНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Попытки использования железных сердечников в контурах, настраивающихся на радиочастоты, производились за все время существования радиотехники. Однако первый практически пригодный для радиочастот железный сердечник был выпущен на рынок (в Германии и Англии) лишь в 1932 г. под названием «феррокарта». Феррокарт состоял из очень мелких (диаметром 0,01—0,02 мм) частиц железа, изолированных друг от друга и нанесенных на тонкие, спрессованные между собой листы бумаги. Производство этого материала стоило дорого и он не получил вследствие этого большого распространения. С 1935 г. в США был введен новый дешевый тип сердечников — магнетитовых, которые в настоящее время распространены весьма широко и изготавливаются также и в СССР. Магнетит представляет собой измельченную (до размера частиц 0,2—0,3 мм) руду (магнитный железняк). Частицы магнитного материала перемешиваются с изолирующим лаком и спрессовываются под большим давлением в сердечники нужной формы. Такие сердечники могут быть использованы при частотах до 12 мГц (в этом случае необходим более мелкий помол), причем по качеству контуры с магнетитовым сердечником не уступают обычным контурам с воздушным сердечником. Действующая магнитная проницаемость сердечников из магнетита в рабочем режиме составляет обычно около 2,8—3,0 (под действующей магнитной проницаемостью подразумевается отношение индуктивности катушки с сердечником к индуктивности той же катушки, но без магнитного сердечника).

Магнетитовые сердечники в настоящее время широко применяются в следующих участках радиоприемной схемы:

- 1) трансформаторы промежуточной частоты (175—500 кГц и 4—12 мГц) в супергетеродинах,
- 2) контурные катушки антенного и высокочастотных каскадов усиления на длинноволновых и средневолновых участках радиовещательного диапазона,
- 3) гетеродинные катушки средневолнового и длинноволнового диапазонов.

Преимущества катушек с железным сердечником

- а) уменьшение габарита катушек в несколько раз по сравнению с воздушными катушками той же добротности,
- б) возможность получения контуров повышенной добротности,
- в) более сосредоточенное магнитное поле катушки, облегчающее экранировку и уменьшающее магнитную связь между контурами,
- г) возможность более близкого расположения экрана,
- д) подстройка контура перемещением сердечника при конденсаторе постоянной емкости обеспечивает стабильность настройки и независимость ее от температурных условий,
- е) уменьшение расхода провода намотки в 2—3 раза по сравнению с воздушными катушками,

ж) связанное с длиной провода уменьшение активного сопротивления катушки,

з) простая и удобная подгонка нескольких контуров на одинаковую величину индуктивности,

и) избавление от полупеременных конденсаторов при настройке трансформаторов промежуточной частоты и подгонки контуров суперет при ручном управлении настройкой,

к) дешевизна (примерно в 2 раза по сравнению с воздушными катушками одинаковой доброкачественности при массовом производстве).

На рис. 5. 38 показан комплект гетеродинных катушек супергетеродина.

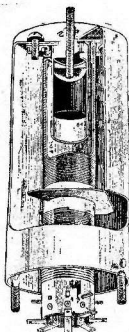


Рис. 5. 38. Генераторные катушки супергетеродина. В разрезе виден магнетитовый сердечник, настраивающий средневолновую (550 — 1500 кГц) секцию однослойной намотки.

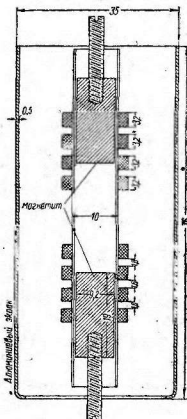


Рис. 5. 39. Расположение обмоток и магнетитового сердечника трансформатора промежуточной частоты (на диапазон 400 — 500 кГц).

Однослойная намотка средневолнового диапазона подстраивается при подгонке контуров передвижением магнетитового сердечника (показанного в разрезе). Подстройка контура производится осевым перемещением сердечника при помощи отвертки. Направляющий болт запрессовывается обычно внутрь магнетитового сердечника при его изготовлении. Точных расчетов

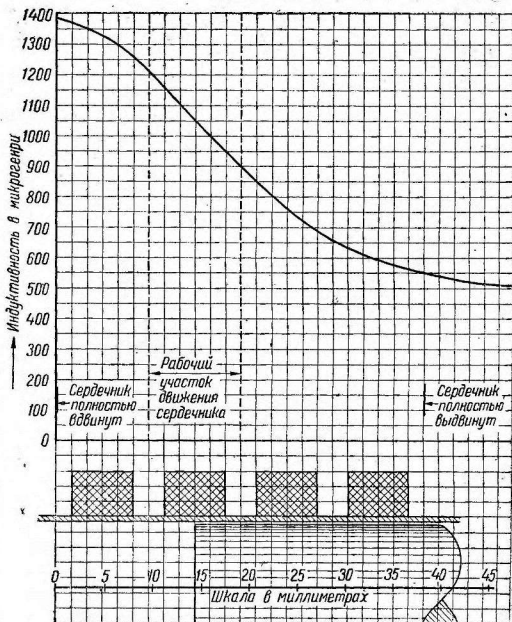


Рис. 5.40. Зависимость индуктивности одной 4-секционной обмотки трансформатора промежуточной частоты от положения магнетитового сердечника.

катушек с железными сердечниками не производится, так как учет распределения магнитного поля катушки при наличии незамкнутого сердечника является слишком сложным. Приводим на рис. 5. 39 и 5. 40 конструктивные и электрические данные стандартного трансформатора промежуточной частоты с магнетитовым сердечником, выпускаемого советскими заводами. На рис. 5. 39 дан конструктивный разрез такого трансформатора; основные размеры каркаса, расположения секций и экрана показаны на самом чертеже. Каждая из 4 секций первичной или вторичной обмотки имеет по 75 витков 5-жильного провода (диаметр жилы 0,08 мм ПЭ). Индуктивность всей 4-секционной обмотки показана на рис. 5. 40 для различных положений магнитного сердечника (по оси абсцисс отложено положение магнетитового сердечника относительно отдельных секций катушки). Как видно из графика, при полном вдвигании сердечника индуктивность катушки примерно в 3 раза больше индуктивности катушки без сердечника. Электрические данные катушки следующие:

рабочая частота $f = 460 \text{ кГц}$

рабочая длина волны $\lambda = 652 \text{ м}$,

рабочая индуктивность $L_0 = 910 \text{ мкГн}$,

индуктивное сопротивление обмотки $x_L = 2630 \text{ ом}$,

настраивающая емкость $C_0 = 131 \text{ пФ} = 118 \text{ см}$,

сопротивление обмотки постоянному току $R = 8,6 \text{ ом}$,

активное сопротивление при рабочей частоте $r = 31 \text{ ом}$,

добротность контура $D = \frac{\omega L}{r} = 85$,

последовательное сопротивление контура $Z = \frac{L}{Cr} = 225\,000 \text{ ом}$.

Связь между первичной и вторичной обмотками выбирается $K = 1\%$ или $K = 2\%$ (для детекторного каскада). Каждая из обмоток настраивается отдельным магнетитовым сердечником.

ЕМКОСТЬ И КОНДЕНСАТОРЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ

Емкостью конденсатора называется отношение заряда электричества к напряжению, вызвавшему этот заряд:

$$C = \frac{Q}{U},$$

или в другой форме:

$$Q = C \cdot U.$$

Эта емкость считается обычно постоянной и независимой от величины прикладываемых к конденсатору напряжений и зарядов. Практической единицей емкости в системе электрических единиц приходится считать фараду, т. е. такую емкость, заряд которой при напряжении между обкладками конденсатора в 1 в будет равен 1 к. Конденсаторов такой большой емкости в практике не встречается (одна из всей практической системы электротехнических единиц необходимо должна была оказаться за пределами практичности, для того чтобы прочие единицы были близки к часто встречающимся на практике величинам). Для того чтобы не повторять затрудняющих обращение больших отрицательных показателей степеней, в практику введены более мелкие подразделения емкости (см. стр. 15).

Во всех дальнейших формулах емкости (если нет особых указаний) в качестве единицы емкости берется сантиметр. В формулах общезлектротехнического характера всегда применяются фарады.

Емкость всякого конденсатора в основном определяется тремя факторами:

- 1) площадью обкладок,
- 2) расстоянием между обкладками,
- 3) свойствами диэлектрика между обкладками.

Если поверхность пластин обкладок достаточно велика по сравнению с расстоянием между ними (иначе говоря, можно пренебречь неравномерным распределением электрических силовых линий у краев пластин), то емкость конденсатора будет прямо пропорциональна площади S обкладок и диэлектрической проницаемости ϵ вещества, находящегося между обкладками (для воздуха этот коэффициент равен единице), и обратно пропорциональна расстоянию d между ними.

Таким образом формула емкости получает следующий вид:

$$C = \frac{A \cdot S \cdot \epsilon}{d}.$$

Постоянный коэффициент A зависит от выбранных единиц. Расчет емкости того или иного конденсатора сводится к определению фактора, зависящего от геометрических размеров и расположения пластин.

Диэлектрическая проницаемость ϵ показывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора при заполнении пространства между пластинами тем или иным материалом. Воздух вносит настолько малое изменение емкости, что диэлектрическая проницаемость для воздуха во всех

случаях принимается за единицу. Диэлектрическая проницаемость для различных материалов меняется в зависимости от сорта; выделения пр. Поэтому расчет емкости конденсатора с диэлектрическими прокладками между пластинами не может быть произведен точно до тех пор, пока не будет установлена величина диэлектрической проницаемости данной партии материала. Лишь немногие материалы, как, например, кварц, чистый парафин, касторовое масло, имеют более или менее постоянную величину диэлектрической проницаемости. Для ориентировочных подсчетов приходится брать средние значения.

При расчете конденсаторов для работы под значительными напряжениями необходимо выбирать толщину диэлектрика, учитывая его диэлектрическую крепость. Диэлектрическая крепость указывает, при каком напряжении диэлектрик не выдерживает и наминается пробой.

Диэлектрическая крепость дается обычно в киловольтах (тысячах вольт) на толщину диэлектрика в 1 см. При разной толщине диэлектрика величина диэлектрической крепости (отнесенная к 1 см) может меняться весьма сильно (возрастает с уменьшением толщины диэлектрика). На рис. 6. 1 дана зависимость напряжения пробоя воздуха от расстояния между дисками.

Приводим дополнительную таблицу пробивных напряжений, дающих разрушение диэлектрика при электродах в форме плоских пластин.

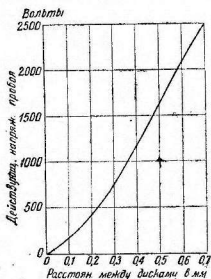


Рис. 6. 1.

Таблица 6. 1

Диэлектрик	Пробивное напряжение в кВ		
	Расстояние между электродами в мм		
	0,2	1	10
Слюда	19	60	500
Миканит	—	25—35	160
Мрамор	—	—	10
Шифер	—	—	3
Стекло	6	12—20	90—1000
Фарфор	—	15	90
Эбонит	10	34	100—500
Бакелит	—	23	—
Бумага парафинированная	—	30	180—200
Пергинакс	—	—	160—200
Церезин	—	—	550
Парафин	—	30	90—500
Воздух	1,2	3,2	23

Таблица 6.2

Диэлектрики	Диэлектри- ческая проницае- мость ϵ	Диэлектри- ческая препятст- вность в кг/см	Удельное объемное со- противление ρ при 20°C в ом
Айсолантайт	3,0	—	—
Асбест	—	30	—
Бакелит	4—6	220	$2 \cdot 10^7 - 2 \cdot 10^{10}$
» при радиочастоте	3,8	—	—
Бумага бакелизированная	4,45	90	—
» парафинированная	3,7	120	$10^{11} - 10^{12}$
» промасленная	3—4,5	100	$10^{12} - 10^{15}$
Гетинакс (пертинакс)	4—5	90—150	$10^{13} - 10^{14}$
Гуттаперча	4	150	$10^{18} - 10^{19}$
» при радиочастоте	2,46	—	—
Дерево обработанное	3—3,5	60	10^{13}
Каучук	2,6	150	$5 \cdot 10^{16}$
Кварц	3,5—3,6	—	11^{16}
Масло трансформаторное	2,15—2,5	120	$10^{12} - 10^{13}$
Микалекс	8	100—150	—
Миканит	7	300	10^{15}
Слюда	5—8	500—2000	$10^{14} - 10^{13}$
Смола	2,5	280—300	—
Стекло флинтглас	6—7	175—350	$10^{14} - 10^{19}$
» разное	5—16	8—30	$10^9 - 10^{15}$
» пайрекс	5,0	—	—
Парафин	1,89	80	$3 \cdot 10^8 - 10^{16}$
» при радиочастоте	2,19—2,34	—	—
Фарфор	4,4—6,8	90—200	$2 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^{14}$
Фибра черная	5,26	—	—
» сухая	2,5	—	$5 \cdot 10^9$
» серая	6,05	—	$2 \cdot 10^{10}$
» промасленная	4,5—5,5	50	—
» красная, при радиочастоте	4,35	—	—
Шеллак	2,7—3,3	120	10^{16}
» при радиочастоте	2,74	—	—
Эбонит	1,9—3,5	200—1500	$2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{16}$

В табл. 6. 1 и 6. 2 указаны средние цифры, так как точных данных для материалов быть не может вследствие того, что сорт, время выделки, завод, марка, небольшие изменения условий работы и пр. могут довольно заметно изменить эти данные. Таблицы применяются, главным образом, для грубого предварительного расчета.

Кроме того, диэлектрик характеризуется удельным объемным и удельным поверхностным сопротивлениями.

Удельное объемное сопротивление определяется как сопротивление в ом мах кубического сантиметра из данного материала, измеренное между противоположными гранями этого куба.

Удельное поверхностное сопротивление (табл. 6. 3) определяется обычно как проводимость поверхности изолятора между прямыми параллельными

электродами размерами 10×1 см, расположенными на расстоянии 1 см между ними при напряжении 1000 в постоянного тока. Эта величина очень сильно зависит от влажности воздуха, как это видно из таблицы.

Таблица 6.3

Материал	α 50% влажности	α 70% влажности	α 90% влажности
Кварц плавленный	3×10^{12}	2×10^9	2×10^8
Эбонит новый	3×10^{13}	1×10^{14}	2×10^9
Слюда бесцветная	2×10^{13}	4×10^{11}	8×10^9
Сера	7×10^{15}	4×10^{15}	1×10^{14}
Янтарь	6×10^{14}	2×10^{14}	1×10^{11}
Каучук	6×10^{14}	3×10^{14}	2×10^{14}
Парафин	9×10^{15}	7×10^{15}	6×10^{15}
Шеллак	6×10^{13}	3×10^{12}	7×10^9
Сургуч	2×10^{16}	6×10^{14}	9×10^{13}
Стекло особого сорта	4×10^{12}	4×10^8	1×10^9
Воск	6×10^{14}	6×10^{14}	5×10^{14}
Фарфор неглазиранный	6×10^{11}	7×10^8	5×10^7
Парафинированное красное дерево	4×10^{12}	5×10^{11}	7×10^9
Стекло зеркальное	5×10^{10}	6×10^7	2×10^7
Мрамор итальянский	3×10^9	2×10^8	2×10^7
Целлулоид	5×10^{10}	2×10^{10}	2×10^9
Фибра красная	2×10^{10}	3×10^9	2×10^8
Слоновая кость	5×10^9	1×10^8	3×10^7
Шифер	9×10^7	3×10^7	1×10^7

ПОТЕРИ В КОНДЕНСАТОРАХ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

При прохождении через конденсатор переменного тока происходят некоторые потери энергии, обычно вызывающие большее или меньшее нагревание самого конденсатора. Присутствие этих потерь вызывает некоторый сдвиг фаз, и ток опережает прикладываемое к конденсатору напряжение не на 90° (как это имело бы место в случае идеального конденсатора, не вносящего никаких потерь), а на некоторый меньший (чем 90°) угол. Качество конденсаторов (главным образом диэлектриков) определяется обычно углом потерь, т. е. тем углом, на который сдвиг фаз в конденсаторе не будет достигать 90° . Этот угол потерь является обычно весьма небольшим, порядка немногих градусов или даже долей одного градуса. Определяется этот угол по-разному: числом содержащихся в нем градусов, в радианах, тангенсом или даже синусом этого угла.

Все эти определения угла потерь имеют совпадающие по величине значения (кроме числа градусов), так как при небольшом числе градусов угол,

синус и тангенс с большим приближением можно считать равными друг другу. Правильнее применять $\operatorname{tg} \delta$, где δ является углом потерь. Практически эта величина представляет собой отношение эквивалентного омического сопротивления всех потерь к емкостному сопротивлению данной емкости при рассматриваемой частоте. Эта величина является обратной величиной добротности конденсаторов, представляющей по аналогии с добротностью катушек отношение емкостного сопротивления к эквивалентному активному (последовательному).

Добротность конденсатора

$$D_c = \frac{R_c}{r} = \frac{1}{r\omega C},$$

δ , или угол потерь, в радианах $= r\omega C$.

В этих двух формулах:

C — емкость конденсатора в фарадах,

$\omega = 2\pi f$ (f — частота тока в герцах).

r — эквивалентное всем потерям сопротивление в омах, включенное последовательно с емкостью.

Это сопротивление, включенное последовательно с идеальным (лишенным потерь) конденсатором той же емкости, дало бы тот же угол потерь, такой же сдвиг фаз, как и рассматриваемый конденсатор.

Это эквивалентное последовательное сопротивление r должно учитывать все виды потерь: 1) омические потери при прохождении тока по обкладкам конденсатора и соединительным проводам; 2) потери на утечку тока благодаря несовершенной изоляции применяемого диэлектрика; 3) потери на диэлектрический гистерезис, так как при перезаряде конденсатора часть заряда задерживается в диэлектрике, вызывая его нагревание.

Если известно сопротивление утечки или вообще какого-либо другого сопротивления, включенного параллельно конденсаторным обкладкам, то его можно пересчитать на соответствующее эквивалентное сопротивление, включенное последовательно с конденсатором. Схема перевода дана на рис. 6. 2:

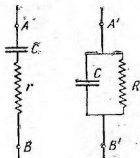


Рис. 6. 2.

C — идеальный конденсатор (без потерь) в фарадах,

r — последовательное сопротивление в омах, соответствующее по потерям параллельному,

R — параллельное сопротивление, эквивалентное по потерям последовательному r .

Обе схемы рис. 6. 2 являются одинаковыми для остальной части цепи, присоединяемой к точкам $A-B$ и $A'-B'$ (с точки зрения величины полного сопротивления и угла потерь). Отметим попутно, что для постоянного тока эти схемы неравноценны, так как идеальный конденсатор не пропустит постоянной слагающей, и что приводимым ниже простым правилом перевода можно пользоваться только при сравнительно небольших углах потерь. Большинство практических случаев укладывается в эти рамки.

Правило перевода:

$$R \cdot r = \frac{1}{(\omega C)^2},$$

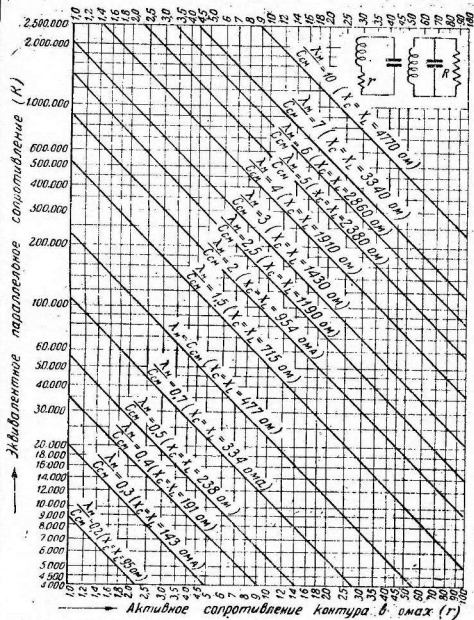


Рис. 6. 3. График перевода последовательного активного сопротивления в эквивалентное параллельное.

откуда

$$R = \frac{1}{r\omega^2 C^2} = \frac{R_c^2}{r}, \text{ или } r = \frac{1}{R\omega^2 C^2} = \frac{R_c^2}{R}$$

(сопротивление в омах, емкость в фарадах).

Это правило позволяет равным образом пересчитывать и отдельную утечку, или сопротивление, присоединенное параллельно конденсатору, на эквивалентное сопротивление, включенное последовательно с конденсатором в контур. Обычно R бывает порядка мегомов, r — в пределах первой сотни омов.

Пересчет можно производить по составленному нами графику рис. 6. 3. Отдельные линии соответствуют различным величинам отношения длины волны (в метрах) и емкости контура (в

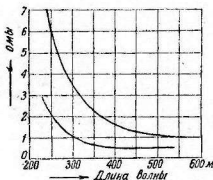


Рис. 6. 4.

сантиметрах). Практически это является наиболее часто встречаемым условием, но для удобства эти же кривые размечены и в емкостных (или индуктивных) величинах сопротивлений контура.

На рис. 6. 4 даны величины эквивалентного последовательного сопротивления r для переменного конденсатора (нижняя кривая для хорошего конденсатора, верхняя кривая для низкого по качеству). Величины емкости конденсатора и обоих эквивалентных сопротивлений r и R с изменением частоты изменяют свои значения, но рассчитывать эти изменения приходится редко; емкость конденсатора при увеличении частоты обычно несколько уменьшается.

В табл. 6. 4 приводим данные об угле потерь и доброкачественности различных диэлектрических материалов. Угол потерь определяется при частоте

Таблица 6. 4

Диэлектрик	Угол потерь ($r\omega C$) $\delta \approx \operatorname{tg} \delta \approx \sin \delta$	Доброкачественность ($\frac{1}{r\omega C}$) $D_c = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$
Слюда	0,0002—0,001	1000—5000
Мрамор	0,1	10
Шифер	0,34	3
Стекло	0,013 — 0,024	40—75
Фарфор (неглазированный)	0,010 — 0,014	70—100
Эбонит	0,0025 — 0,025	40—400
Бакелит	0,012 — 0,03	35—80
Бумага сухая	0,004	250
» парафинированная	0,003—0,01	100—300
Пертинакс	0,025	40
Церезин	0,00003	30000
Парафин	0,00008	12000

800 гц. Следует помнить, что эти данные, как и вообще все приводимые в справочниках цифровые данные о материалах, следует использовать только в качестве средних ориентировочных цифр, так как сорт материала, выделка, фирма и условия эксплуатации всегда будут изменять эти средние расчетные значения.

Воздух имеет настолько малый угол потерь, что практически потери в воздухе во всех случаях можно не принимать в расчет. В воздушном конденсаторе потери определяются уже углом потерь, вносимым диэлектрическими прокладками в местах крепления обкладок, и сопротивлением при прохождении тока заданной частоты к самим обкладкам конденсатора и подводящим проводам.

КОНДЕНСАТОР ИЗ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

Это самый распространенный тип конденсатора, так как прибор для получения заданной емкости при возможно небольшом объеме и габарите практически удобно получается только при параллельных пластинах (или группах пластин), разделенных друг от друга или твердым диэлектриком (слюда, бумага) или, при жесткой конструкции пластин, небольшим воздушным промежутком (воздушный тип переменных и постоянных конденсаторов).

Основная формула:

$$C = \frac{S \cdot \varepsilon}{4 \cdot \pi \cdot d},$$

или (с точностью порядка 0,5%):

$$C = \frac{0,08 S \cdot \varepsilon}{d}.$$

Здесь C — емкость в сантиметрах,

S — рабочая площадь пластин в кв. сантиметрах (площадь одной пластины при конденсаторе из двух пластин),

d — расстояние между пластинами в сантиметрах,

ε — диэлектрическая проницаемость среды, находящейся между пластинами.

Если полученный результат надо превратить в микромикрофарды, то подсчитанная емкость в сантиметрах умножается еще на 1,111.

Эта формула выведена при том предположении, что силовые электрические линии (соответствующие распределению зарядов) распределены по всей площади пластин равномерно. Фактически по краям пластин располагаются дополнительные заряды, которые несколько увеличивают расчетную емкость. Если ширина пластин конденсатора в 10 раз и больше превышает расстояние между пластинами, то тогда влиянием краевого эффекта можно пренебречь (с точностью лучшей, чем 1%). Если же расстояние между пластинами сравнительно велико или требуется повышенная точность, в формулу емкости надо вводить не действительную, а несколько увеличенную площадь пластин. Поверхность пластин в этом случае надо увеличивать по периметру (по краю пластин) узенькой полоской, ширина которой берется равной $0,4 d$ для пластин круглой формы и $0,1d$ для прямоугольных пластин (d — расстояние между пластинами). Более точные формулы для учета краевого эффекта существуют, но они весьма громоздки.

Приведем формулу Кирхгофа для случая, могущего встретиться в радиолaborаторной практике при постройке эталонного конденсатора малой емкости.

Емкость двух круглых пластин диаметром D (в сантиметрах), толщиной b (в сантиметрах), расположенных параллельно друг другу на расстоянии d (в сантиметрах), в воздухе равна:

$$C_{см} = \frac{D^2}{16d} + \frac{D}{8\pi} \left[1 + \ln \frac{8\pi(d+b)}{d^2} D + \frac{b}{d} \ln \frac{b+d}{b} \right].$$

Эта формула дает очень высокую точность.

МНОГОПЛАСТИНЧАТЫЙ КОНДЕНСАТОР

Конденсаторы обычно делаются из двух групп параллельных пластин, входящих одни между другими. В этом случае конденсирование зарядов будет происходить на обеих сторонах всех внутренних пластин, и только для двух крайних пластин заряды будут собираться лишь на одной внутренней поверхности пластин. В формулу расчета емкости, таким образом, должна входить вся суммарная рабочая (конденсирующая) площадь. Такой конденсатор по емкости эквивалентен параллельно включенным $(n-1)$ двухпластинчатым конденсаторам, где n — полное число пластин. Емкость его может быть подсчитана по формуле:

$$C_{см} = \frac{0,08 \cdot \varepsilon \cdot S(n-1)}{d},$$

где 0,08 — коэффициент с большой точностью, заменяющий величину $1/4\pi$,

S — площадь пластины в кв. сантиметрах (одной стороны),

n — полное число пластин (сумма пластин для обеих обкладок конденсатора),

d — расстояние между пластинами в сантиметрах,

ε — диэлектрическая проницаемость материала прокладок.

Наиболее распространенной (почти единственной) конструкцией конденсаторов переменной емкости являются две системы параллельно скрепленных пластин. Одна система пластин является неподвижной (статор), другая система закрепляется на вращающейся оси (ротор) и, представляя собой другую обкладку, может при своем вращении входить в зазоры между пластинами первой системы, изменяя, таким образом, величину конденсирующей поверхности между системами пластин.

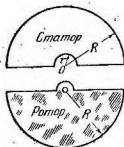


Рис. 6. 5.

Простейшей формой пластин конденсаторов переменной емкости является полукруг, допускающий максимальное использование площади (вращение оси ротора на 180°). Для того чтобы дать место для оси вращения, неподвижные пластины имеют в центре вырез обычно в форме, изображенной на рис. 6. 5 (ушки для скрепления неподвижных пластин в одно целое на рисунке не показаны, как не имеющие влияния на величину емкости конденсатора). Рабочей площадью пластин конденсатора (для случая полного введения пластин ротора) явится только оставшаяся площадь, равная разности двух полукругов:

$$S = 1,57 (R^2 - r^2),$$

где R — радиус пластины в сантиметрах,

r — радиус внутреннего выреза,

или, если расчет удобнее производить при известных величинах диаметров

$$S = 0,39 (D_2^2 - D_1^2),$$

где D_2 — диаметр пластины в сантиметрах ($D_2 = 2R$),

D_1 — диаметр выреза в сантиметрах ($D_1 = 2r$).

Емкость переменного конденсатора с полукруглыми пластинами при полном введении пластин ротора в статор будет определяться следующей формулой:

$$C = \frac{\epsilon (n - 1) (R^2 - r^2)}{8d}.$$

Здесь C — емкость в сантиметрах,

ϵ — диэлектрическая проницаемость (для воздуха $\epsilon = 1$),

n — полное число пластин ротора и статора (сумма),

R — радиус пластин в сантиметрах (если пластины неодинаковы, то за основу для расчета берется меньший полукруг),

r — радиус выреза в статоре в сантиметрах,

d — расстояние между пластинами (воздушный зазор) в сантиметрах.

Это расстояние практически вычисляется так. Из общей толщины конденсатора (считая от самой верхней пластины до самой нижней) вычитается длина, занимаемая всеми пластинами (толщина одной пластины, умноженная на число всех пластин), и остаток делится на полное число всех последовательно действующих воздушных зазоров. Это соотношение величины зазора основывается на том, что если расстояние между двумя соседними неподвижными пластинами равно D сантиметров, а толщина находящейся между ними роторной пластины равна B сантиметров, то величина воздушного зазора (расстояние между двумя соседними пластинами-конденсаторами) будет равно:

$$d = \frac{D - B}{2}.$$

ПРЯМОЕМКОСТНЫЙ КОНДЕНСАТОР

Максимальная емкость (при полностью введенных пластинах) воздушного прямоемкостного конденсатора может быть также определена по формуле:

$$C_{\max} = \frac{(R^2 - r^2) (n - 1)}{4(D - b)}.$$

Здесь $C_{\max}$ — максимальная емкость в сантиметрах,

R — радиус (наружных) роторных пластин в сантиметрах,

r — радиус осевого выреза в статорных пластинах в сантиметрах (для помещения оси ротора),

n — общее число пластин (ротора и статора),

D — длина воздушного зазора между соседними пластинами (статора или ротора) в сантиметрах,

b — толщина пластин в сантиметрах (подразумевается, что и роторные и статорные пластины одинаковой толщины).

При неполностью введенных пластинах емкость конденсатора получается равной:

$$C_{\varphi} = C_{\max} \cdot \frac{\varphi}{\pi},$$

где ϕ — угол в радианах, на который введены пластины ротора в зазоры статора.

Однако эта обычная формула, использующая исчисления угла поворота в радианной мере, неудобна, так как шкала ручки настройки подразделяется просто на 100 равных делений (эти 100 делений равны 180°). В этом случае удобнее пользоваться такой формулой:

$$C_A = C_{\max} \cdot \frac{A}{100},$$

где A — число делений 100-градусной шкалы, на которые введены пластины ротора.

Кривая емкости такого типа конденсатора изобразится прямой линией (см. кривую I на рис. 6. 6), имеющей небольшие закругления у первых

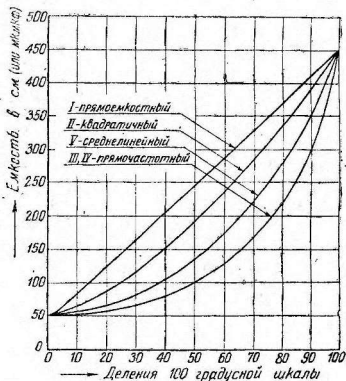


Рис. 6. 6. Сравнительный график изменения емкости переменных конденсаторов с различной формой пластин.

и у последних делений шкалы (влияние неравномерного распределения силовых линий при этих положениях пластин). Эта прямая линия не проходит через начало координат, так как при нулевом положении пластин емкость конденсатора не равна нулю за счет начальной емкости, образуемой между системами пластин в их начальном положении.

! Поэтому более точной формулой емкости прямоемкостного конденсатора является:

$$C_A = aA + C_0,$$

где A — деление шкалы, на которое введены пластины,

C_0 — начальная емкость (при угле поворота $A = 0^\circ$),

a — коэффициент, соответствующий емкости, приходящейся на 1 деление прямолинейного участка шкалы.

Этот коэффициент лучше всего определять из разности емкостей, соответствующих прямолинейному участку:

$$a = \frac{C_{80} - C_{20}}{60},$$

где C_{80} — емкость при 80 делениях шкалы, C_{20} — емкость при 20 делениях шкалы.

Во многих конденсаторах прямолинейным участком можно считать участок от 10-го деления до 90-го. В этом случае коэффициент a (емкость, приходящаяся на 1 деление) вычисляется:

$$a = \frac{C_{90} - C_{10}}{80}.$$

Если пластины ротора не находятся ровно в середине промежутка между пластинами статора, то общая емкость конденсатора несколько увеличивается по сравнению с правильно выполненным конденсатором. Это легко проверить, вычислив емкость конденсатора как сумму емкостей двух отдельных конденсаторов, из которых у одного зазор больше нормального, а у другого меньше нормального (на ту же величину).

Прямоемкостная форма пластин применяется в настоящее время, главным образом, в измерительной и лабораторной практике, где очень удобно в любом участке шкалы конденсатора иметь одинаковые изменения емкости на каждое деление шкалы. В приемных устройствах эти конденсаторы уже не применяются, так как они дают весьма неравномерное (по шкале) распределение станций перекрываемого диапазона.

ПРЯМОВОЛНОВЫЙ КОНДЕНСАТОР

Этот тип конденсатора при настройке дает равномерное изменение длины волн, приходящееся на каждое деление шкалы.

Длина волны контура изменяется пропорционально корню квадратному из емкости настройки:

$$\lambda = k \sqrt{C}.$$

Поэтому для получения прямолинейной зависимости между длиной волны и углом поворота шкалы конденсатора необходимо удовлетворять следующему равенству:

$$C_A = (aA + b)^2,$$

где C_A — емкость конденсатора при A делениях шкалы,

a и b — коэффициенты, зависящие от максимальной и минимальной емкостей конденсатора.

Из-за указанной зависимости прямоволновый конденсатор часто называется еще к в а д р а т и ч н ы м.

Расчет формы пластин для удовлетворения приведенных выше условий производится следующим образом.

Кривая емкости прямоугольного конденсатора может быть вычислена по приведенной выше формуле:

$$C_A = (aA + b)^2;$$

коэффициенты a и b равны:

$$a = \frac{\sqrt{C_{100}} - \sqrt{C_0}}{100} \text{ и } b = \sqrt{C_0}.$$

Здесь C_{100} — максимальная емкость (100 делений шкалы) в сантиметрах,

C_0 — начальная емкость в сантиметрах,

C_A — емкость в сантиметрах при A делениях шкалы.

Расчет очертания подвижных пластин можно произвести по формуле:

$$R_A = \sqrt{\frac{1600 \cdot a \cdot d \cdot (aA + b)}{n - 1} + r^2}.$$

Здесь R_A — радиус-вектор подвижной пластины при A делениях шкалы в сантиметрах,

r — радиус выреза в неподвижных пластинах в сантиметрах,

$$a = \frac{\sqrt{C_{100}} - \sqrt{C_0}}{100},$$

d — зазор между пластинами ротора и статора в сантиметрах,

$$b = \sqrt{C_0},$$

n — полное число пластин конденсатора.

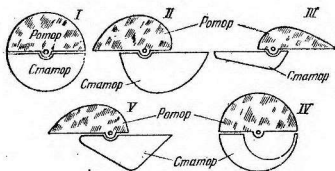


Рис. 6.7.

Примерная форма пластин и кривая градуировки прямоугольного (квадратного) конденсатора показаны под цифрой II на рис. 6.6 и 6.7. По сравнению с прямоемкостным конденсатором конденсатор с квадратичной (прямоугольной) формой пластин даст более равномерное распределение станций перекрываемого диапазона по шкале.

ПРЯМОЧАСТОТНЫЙ КОНДЕНСАТОР

Для того чтобы при настройке частоты принимаемых волн равномерно распределялись по делениям шкалы, уравнение емкости должно иметь вид:

$$C_A = \frac{1}{(aA + b)^2};$$

где C_A — емкость при A делениях шкалы в сантиметрах,
 A — введенное деление шкалы,
 a и b — коэффициенты, зависящие от начальной и максимальной емкостей конденсатора:

$$a = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{\sqrt{C_{\min}}} - \frac{1}{\sqrt{C_{\max}}} \right);$$

$$b = \frac{1}{\sqrt{C_{\max}}}.$$

Здесь $C_{\max}$ — максимальная емкость, $C_{\min}$ — минимальная емкость.

Указанная выше формула дает минимальную емкость при 100 делениях шкалы и максимальную — при 0 делениях. Практически чаще всего конденсатору дается обратное вращение, т. е. при сохранении полностью прямо-частотной формы пластин при обычном вращении ручки конденсатора вправо (деления отмечаются от 0 до 100) емкость конденсатора увеличивается (частота уменьшается). Эта перевернутая кривая емкости и показана (сравнительно с другими конденсаторами, имеющими те же минимальные и максимальные емкости) под цифрами III — IV на рис. 6. 6. Форма пластин этого типа конденсатора дана под теми же обозначениями на рис. 6. 7.

Для формы ротора, обозначенного через III на рис. 6. 7, расчет радиуса можно произвести по следующей формуле:

$$R_A = \sqrt{\frac{1600 \cdot a \cdot d}{(aA + b)^2 (n - 1)}} + r^2.$$

Здесь A — заданное число делений шкалы,

R_A — радиус от центра вращения до края пластины ротора в сантиметрах,

r — радиус выреза в пластинках статора в сантиметрах,

$$b = \frac{1}{\sqrt{C_{\max}}},$$

$$a = \frac{1}{1} \left(\frac{1}{\sqrt{C_{\min}}} - \frac{1}{\sqrt{C_{\max}}} \right),$$

d — зазор между пластинами разных знаков в сантиметрах,

n — полное число пластин конденсатора.

ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ, ИЛИ СРЕДНЕЛИНЕЙНЫЙ, КОНДЕНСАТОР

Последние годы большое применение получила еще одна форма пластин, так называемая логарифмическая, довольно часто называемая еще и среднелинейной. Кривая изменения емкости такого конденсатора лежит в середине между прямоугольной и прямо-частотной (см. кривую V на рис. 6. 6). Основная особенность этого типа конденсатора это то, что процентное изменение емкости, приходящееся на 1 деление шкалы, остается одинаковым в любом месте шкалы. Это свойство в значительной степени облегчает спаривание конденсаторов на одной оси, так как установленные на одной частоте в одном месте шкалы они достаточно точно держат одинаковые настройки при дальнейшем вращении роторов по всей шкале. Кроме того, такой тип конденсаторов удобен и в измерительной практике, так как увеличивается равномерность точности измерений на разных уча-

стках шкалы. Форма пластин этого типа конденсатора обозначена цифрой V на рис. 6. 7.

Основная формула емкости логарифмического конденсатора:

$$C_A = C_0 e^{aA},$$

где C_A — емкость в сантиметрах при A делениях шкалы,

C_0 — начальная емкость в сантиметрах при $A = 0$.

$$e = 2,718...;$$

$$a = \frac{1}{100} \ln \frac{C_{100}}{C_0}.$$

Для правильных расчетов пластин за начальную емкость надо считать всю емкость контура, получаемую в схеме при нулевом делении шкалы конденсатора.

Расчет формы пластин ведется по следующей формуле:

$$R_A = \sqrt{\frac{80a \cdot d \cdot C_0 e^{aA}}{n-1} + r^2}.$$

Здесь R_A — радиус в сантиметрах (от центра вращения ротора до края пластин) при A делениях шкалы,

d — зазор между пластинами противоположных знаков в сантиметрах,

C_0 — начальная емкость (всего контура) в сантиметрах,

$e = 2,72$,

n — полное число пластин конденсатора,

r — радиус выреза в неподвижных пластинах для помещения оси ротора в сантиметрах,

A — номер деления 100°-ной шкалы, для которого ведется расчет радиуса роторной пластины.

РАСЧЕТ ФОРМЫ ПЛАСТИН РОТОРА ЛЮБОГО ПЕРЕМЕННОГО КОНДЕНСАТОРА С КРИВОЙ ЕМКОСТИ, ЗАДАННОЙ ГРАФИЧЕСКИ

Укажем общий способ расчета формы пластин ротора для переменного конденсатора, имеющего любую форму кривой емкости, заданную графически. Этот способ дает приближенное решение, однако точность результатов достаточна в большинстве практических случаев. Рассмотрим метод расчета на примере для переменного конденсатора, форма кривой емкости которого задана, положим, произвольной кривой на рис. 6. 8. Начальная емкость конденсатора задана (из кривой) в 20 мкмкф, а приращения емкости через каждые 10° (делений) будут составлять, как показано на рис. 6. 8, ΔC_1 , ΔC_2 , ΔC_3 и т. д.

Средний радиус каждого сектора (занимающего 10° делений шкалы) определится из соотношения:

$$R_n = \sqrt{k \cdot \Delta C_n + r^2},$$

где R_n — средний радиус n -сектора в сантиметрах,

ΔC_n — приращение емкости, даваемое этим сектором в микромикрофарадах,

r — радиус внутреннего выреза пластин статора, предназначенного, для пропуска оси ротора, в сантиметрах,

k — постоянная величина.

Для определения величины k необходимо задаться величиной радиуса для одного из секторов; обычно приходится исходить из максимального радиуса. Задаемся, например, для первого сектора конденсатора, заданного кривой рис. 6. 8, средним радиусом $R_1 = 4$ см и радиусом выреза

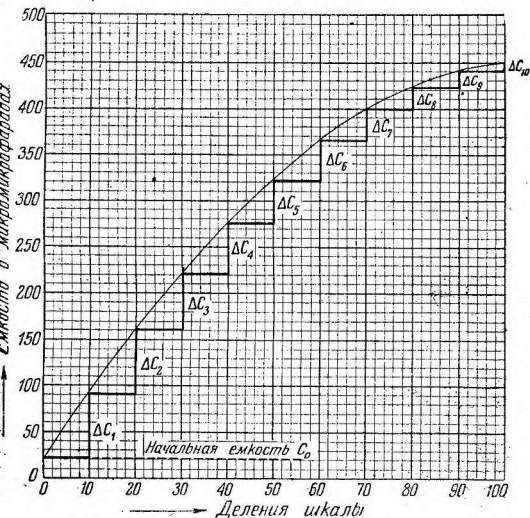


Рис. 6. 8. Заданная кривая емкости и график для расчета формы пластин.

статорных пластин $r = 0,8$. Приращение емкости для этого сектора составит $\Delta C_1 = 72$ мккф, следовательно,

$$R_1 = \sqrt{k \cdot \Delta C_1 + r^2},$$

$$4 = \sqrt{k \cdot 72 + 0,8^2},$$

откуда $k = 0,213$.

Составляем далее (по кривой рис. 6, 8) таблицу приращений емкости для всех секторов и вычисляем для них средние радиусы.

Таблица 6.4а.

Деления до	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
$\Delta C \left\{ \begin{array}{l} \text{по кривой} \\ \text{в мкмкф} \end{array} \right.$	ΔC_1 72	ΔC_2 68	ΔC_3 58	ΔC_4 54	ΔC_5 47	ΔC_6 43	ΔC_7 37	ΔC_8 23	ΔC_9 17	ΔC_{10} 11
$k \cdot \Delta C$	15,35	14,50	12,35	11,52	10,0	9,16	7,88	4,95	3,62	2,345
R	R_1 4,00	R_2 3,89	R_3 3,60	R_4 3,49	R_5 3,26	R_6 3,13	R_7 2,92	R_8 2,37	R_9 2,06	R_{10} 1,73

На рис. 6, 9 приведена в натуральную величину форма роторной пластины рассчитанного переменного конденсатора.

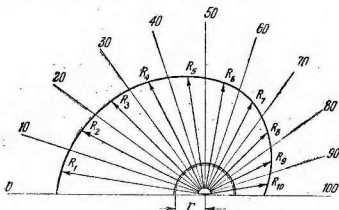


Рис. 6. 9. Форма роторных пластин рассчитанного конденсатора (в натуральную величину).

Внутренний полуокруг указывает вырез в пластинах статора для пропуска оси ротора.

Определение числа конденсаторных пластин и воздушного зазора между пластинами находится в зависимости от найденной ранее величины k по следующей формуле:

$$N = \frac{7,1 \cdot m \cdot d}{k} + 1,$$

где N — общее число пластин (ротора и статора) конденсатора,
 m — число секторов, выбранное для расчета; чем больше m , тем более точно могут быть найдены величины радиусов,
 d — воздушный зазор между пластинами в сантиметрах,
 k — полученная ранее постоянная величина.

Для данного примера:

$$m = 100^\circ : 10^\circ = 10 \text{ секторов,}$$

$$k = 0,213.$$

По заданной или выбранной величине $d=0,05$ см и значениям m и k находим число пластин конденсатора:

$$N = \frac{7,1 \cdot 10 \cdot 0,05}{0,213} \approx 17 \quad \begin{matrix} (8 \text{ пластин на статоре и} \\ 9 \text{ пластин на роторе).} \end{matrix}$$

КОНДЕНСАТОР ИЗ ДВУХ КОАКСИАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Емкость двух коаксиальных цилиндров, находящихся один в другом, равна:

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}}.$$

Здесь C — емкость в сантиметрах,

l — длина в сантиметрах,

r_2 — радиус большего (внешнего) цилиндра,

r_1 — радиус меньшего (внутреннего) цилиндра.

Отношение $\frac{r_2}{r_1}$ можно заменить отношением соответствующих диа-

метров, так как $\frac{r_2}{r_1} = \frac{D_2}{D_1}$ (радиусы или диаметры входят отношениями, поэтому единицы измерения не играют роли, лишь бы оба были измерены в одних и тех же единицах).

Два длинных параллельных цилиндра, находящихся на расстоянии d сантиметров друг от друга, имеют емкость:

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{d^2}{r_1 r_2}}.$$

где l — длина цилиндров в сантиметрах,

d — расстояние между цилиндрами в сантиметрах,

r_1 и r_2 — радиусы обоих цилиндров в сантиметрах.

ЕМКОСТЬ МЕЖДУ ДВУМЯ ДЛИННЫМИ ПРОВОДАМИ

Из предыдущей формулы емкости двух параллельных цилиндров получается емкость между двумя проводами линии, составленной из двух параллельных проводов, протянутых на расстоянии D друг от друга (приравниваем $r_1 = r_2$).

Емкость двухпроводной линии:

$$C = \frac{l}{4 \ln \frac{2D}{d}}.$$

Здесь C — емкость в сантиметрах,

l — длина линии в сантиметрах,

D — расстояние между проводами линии в сантиметрах,

d — диаметр каждого из проводов в сантиметрах (считая оба провода одинаковыми).

Емкость линии, состоящей из одиночного провода, расположенного на высоте h над землей (второй обкладкой служит земля), равна:

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{4h}{d}},$$

Здесь C — емкость однопроводной линии в сантиметрах,

l — длина провода в сантиметрах,

h — высота подвеса провода над землей в сантиметрах,

d — диаметр провода в сантиметрах.

Данные воздушных линий приведены в табл. 4. 43.

ЕМКОСТЬ ШАРА

Емкостью изолированного тела считается та емкость, которая существует между этим телом и окружающей ее проводящей средой, находящейся на бесконечно большом от нее расстоянии.

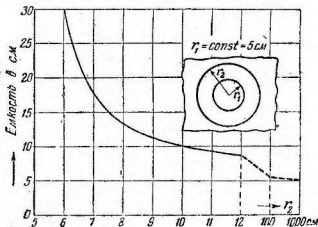


Рис. 6. 10.

Конденсатор, состоящий из двух concentrically расположенных (см. схему на рис. 6. 10) шаровых поверхностей (обкладок из проводникового материала), имеет емкость, определяемую по формуле:

$$C_{12} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}.$$

Здесь C_{12} — емкость между шаровыми поверхностями в сантиметрах,

r_1 — радиус меньшего (внутреннего) шара в сантиметрах,

r_2 — радиус большей (наружной) шаровой обкладки в сантиметрах.

В этой формуле и других в качестве диэлектрика принимается воздух, для которого диэлектрическая проницаемость ϵ принимается равной единице. При другом диэлектрике, заполняющем все пространство между обкладками, в числитель формулы емкости надо включать еще один множитель — ϵ (коэффициент диэлектрической проницаемости среды). Емкость по этой формуле получается прямо в сантиметрах (емкости), если оба радиуса выражены также в сантиметрах (длины).

Разделив числителя и знаменателя формулы на r_2 , получим, что емкость системы двух шаровых поверхностей равна:

$$C_{12} = \frac{r_1}{1 - \frac{r_1}{r_2}}.$$

При увеличении r_2 знаменатель приближается к единице, а общий результат приближается к величине r_1 . Поэтому при далеко расположенных обкладках емкость шара принимается равной r_1 , т. е. численно выражается длиной радиуса в сантиметрах. В этом смысле и надо понимать выражение «емкость уединенного шара». Практически всякое тело всегда имеет некоторую емкость относительно второй обкладки, состоящей из всех окружающих предметов и самой земной поверхности, и этой-то величиной емкости и определяется емкостное поведение этого «уединенного» тела.

Итак, емкость шара (сферы)

$$C \text{ (см)} = r \text{ (см)}$$

надо понимать как емкость относительно бесконечно удаленной другой шаровой поверхности.

Емкость шара относительно земли обычно незначительно превышает число сантиметров в радиусе этого шара. Эту емкость можно вычислять по формуле:

$$C = \frac{h \cdot r}{h - r},$$

где h — высота шара над землей,

r — радиус шара (сферы).

Емкость «уединенного» тонкого диска радиуса r сантиметров равна

$$C_{\text{см}} = 0,71r \text{ (см)}.$$

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ (ЭЛЕКТРОЛИТИКИ)

Электролитический конденсатор изготавливается из двух алюминиевых пластин, из которых одна (анодная — положительный электрод) оксидируется, т. е. покрывается электролитическим путем оксидным слоем. Отрицательная (катодная) алюминиевая пластина не обрабатывается и служит лишь для получения контакта с электролитом, являющимся фактически второй рабочей обкладкой конденсатора. Диэлектриком служит чрезвычайно тонкая оксидная пленка, отделяющая анодную алюминиевую пластину от электролита.

Электролитический конденсатор обладает емкостью только для определенной полярности тока. При обратном включении в цепь анодная пластина сразу же теряет свои свойства, через конденсатор проходит ток большой силы, разрушающий самый конденсатор. Электролит, играющий роль второй рабочей обкладки, обычно составляется из глицерина, борной кислоты и раствора аммиака, однако может иметь и другую рецептуру (этиленгликоль и пр.).

Электролитические конденсаторы бывают следующих типов:

а) *Мокрые*, у которых алюминиевый стакан заливается жидким электролитом; большое количество жидкости требует специального клапана для выхода газов, что приводит к тому, что мокрый электролитик должен монтироваться только в вертикальном положении (чтобы жидкость не вытекала)

Мокрые электролитики изготавливаются в настоящее время с повышенным током утечки в первоначальный период включения при повышенном напряжении. Такая характеристика весьма важна для приемно-усилительных схем, в которых выпрямительная часть создает полное напряжение раньше, чем разогреются усилительные лампы, являющиеся основной нагрузкой для выпрямителя. Мокрые электролитики в момент включения всей схемы образуют для выпрямительной части нагрузку, достаточную для того, чтобы предохранить схему от перенапряжений в выпрямителе.

б) Сухие электролитические конденсаторы имеют очень густой электролит в виде пасты. Чаще всего сухой электролитический конденсатор состоит из двух алюминиевых лент, разделенных бумажной прокладкой, пропитанной электролитом. Внешней оболочкой сухого электролитического конденсатора обычно является картонный каркас (прессшпановая гильза). Этот тип конденсаторов допускает монтаж в любом положении.

в) Полусухой тип электролитических конденсаторов (наиболее распространенный в СССР), объединяющий характеристики обеих предыдущих групп.

Преимущества электролитиков (по сравнению с бумажными или слюдяными):

1) возможность получения очень больших емкостей (для низких рабочих напряжений изготавливаются электролитики емкостью в несколько тысяч микрофард в одном стакане);

2) очень малые размеры (по сравнению с однотипными бумажными конденсаторами);

3) очень малый вес на единицу емкости;

4) малая стоимость на единицу емкости;

5) выгодная нагрузочная характеристика электролитиков мокрого типа (упомянута в п. «а»).

Недостатки электролитиков:

1) необходимость соблюдения полярности при включении; неправильная полярность может привести к полной порче электролитика;

2) невозможность применения в цепях переменного тока;

3) относительно большой ток утечки (низкая изоляция);

4) большой угол потерь;

5) нестабильность емкости при изменении условий работы (температуры, частоты тока, срока службы, рабочего напряжения);

6) невозможность получения электролитиков на рабочее напряжение более 600 в.

Вышеуказанными характеристиками объясняется то, что электролитики в настоящее время являются незаменимыми типами конденсаторов большой емкости для выпрямительных фильтров и для шунтирования катодных сопротивлений, задающих автоматические смещения на сетки.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЛИТИКОВ

Диэлектрическая пленка, разделяющая рабочие поверхности конденсатора — формованную анодную ленту и токопроводящий электролит, имеет толщину, зависящую в основном от формовочного напряжения. Диэлектрическая постоянная этой пленки имеет величину от 15 до 40 (непосредственному измерению не поддается). Пробивное напряжение для этой пленки соответствует диэлектрической крепости от 4 до 15 млн. вольт на 1 см.

Материал анодной пластины играет большую роль в качестве электролитика. В настоящее время для сухих и полусухих электролитиков применяется почти исключительно чистый алюминий. Электролитики хорошего

качества требуют электролитического алюминия, в составе которого чистого алюминия не менее 99,7%.

Электролит составляется по весьма разнообразной рецептуре. Чаще всего это смесь из глицерина, борной кислоты и раствора аммиака. Сопротивление электролита играет весьма большую роль в потерях, получающихся в конденсаторах. Для сухих и полусухих электролитиков сопротивление

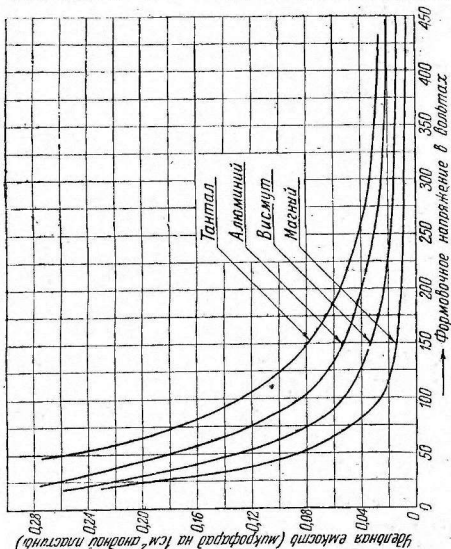


Рис. 6. 11. Зависимость удельной емкости от формовочного напряжения и применяемого материала.

электролита может меняться от 50 до 300 ом на 1 см². Для мокрых электролитиков сопротивление электролита уменьшается до 3—4 ом/см². Удельная емкость электролита обычно учитывается в виде емкости (в микрофарадах), которую можно получить с каждого квадратного сантиметра поверхности анодной пластины. Эта удельная емкость зависит как от применяемого материала, так и (в основном) от формовочного напряжения. На графике рис. 6. 11 даны эти зависимости.

Ток утечки электролитического конденсатора изменяется в зависимости от типа конденсатора, температурных условий и применяемого рабочего напряжения. Ориентировочный расчет для высоковольтных электролитиков можно вести, исходя из нормы 0,1 ма на каждую микрофараду емкости при номинальном рабочем напряжении. Для низковольтных электролитиков ток утечки на каждую микрофараду емкости может доходить до 1 мка. Характеристика тока утечки при включении электролитика под рабочее напряжение после длительного перерыва показана на рис. 6. 12; зависимость тока утечки и емкости от температуры дана на рис. 6. 13.

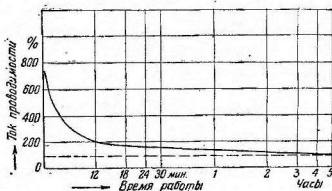


Рис. 6. 12. Спадание тока проводимости при включении после длительного перерыва.

Допустимые пульсации. Электролитики (кроме специальных пусковых типов) непригодны для включения в схему переменного тока. Равным образом должна быть ограничена и величина пульсаций напряжения. Нормами можно считать следующие величины:

Таблица 6. 5

Рабочее напряжение (вольты пост. тока)	Цикловое напряжение (вольты пост. тока)	Допустимая амплитуда пульсации переменного тока в %	
		при емкости 1—3 мкф	при емкости 10—12 мкф
200	225	30	20
350	400	30	20
400	450	30	20
450	525	30	20
500	600	30	20

Измерение емкости электролитиков производится обычно на переменном токе технической частоты при подаче на электролитик постоянного (поляризованного) напряжения, равного 80% от номинального. При этих условиях величина емкости измеряется при наложении переменной составляющей:

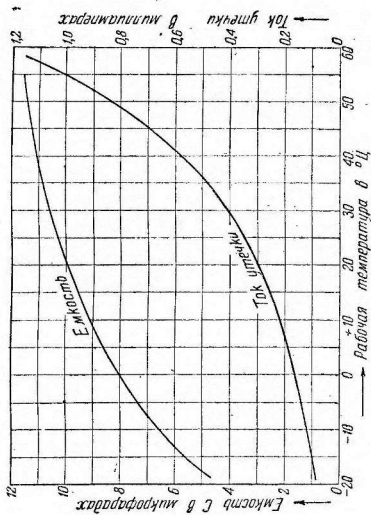


Рис. 6. 13. Данные типового высоковольтного электролитического конденсатора 10 мкф.

15 в (эффективное значение) для электролитиков с рабочим напряжением 100 в и выше,

3 в (эффективное значение) для электролитиков с рабочим напряжением от 25 в до 100 в,

2 в (эффективное значение) для электролитиков, имеющих рабочее напряжение от 6 до 25 в.

Емкость электролитиков при разных частотах. Величина диэлектрических потерь зависит от частоты, поэтому электролитики, обладающие весьма большими диэлектрическими потерями, при разных частотах будут

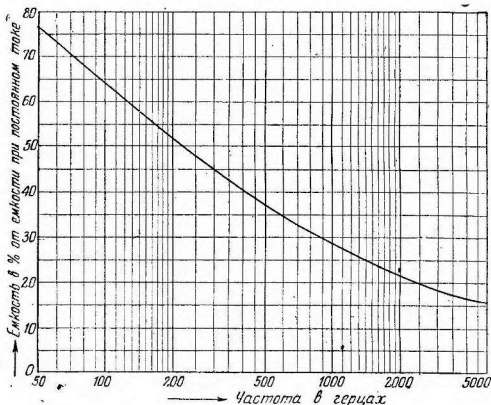


Рис. 6. 14. Зависимость емкости электролитика от частоты.

иметь весьма различные величины емкости. На рис. 6. 14 дана примерная зависимость между емкостью и действующей частотой. Емкость электролитика, измеренная при постоянном токе, является наибольшей возможной, и на графике рис. 6. 14 эта емкость принята за 100%. Как видно из графика, уже при частоте 200 гц «кажущаяся» емкость составляет всего 50% от номинальной емкости при постоянном токе. При частотах 3000—4000 гц емкость электролитиков уменьшается почти в 5 раз. Следует иметь в виду, что данная кривая является ориентировочной, и в зависимости от типа конденсатора его потери и кажущееся уменьшение емкости будут изменяться несколько иначе (при сохранении той же закономерности).

Потери в электролитах, косинус ϕ . Конденсатор, имеющий диэлектрические потери, может быть представлен в виде эквивалентной схемы рис. 6. 15, состоящей из идеального (не имеющего потерь) конденсатора C , включенного последовательно с некоторым эквивалентным сопротивлением R_s . Векторная диаграмма этой схемы показана на том же рис. 6. 15. Обычно угол сдвига фаз в конденсаторах близок к 90° , поэтому для удобства вычислительного порядка указывается не угол ϕ сдвига фаз, а дополнительный угол $\delta = 90 - \phi$. Практически этот угол δ , называемый обычно **у г л о м п о т е р ь**, бывает настолько мал (не более $10-15^\circ$), что без большой ошибки можно считать

$$\delta \approx \operatorname{tg} \delta \approx \varphi.$$

Любым из этих обозначений и характеризуется качество бумажных, слюдяных и электролитических конденсаторов. Однако необходимо иметь

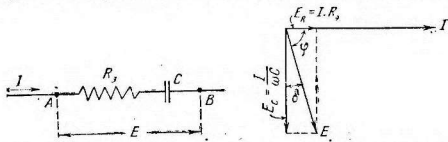


Рис. 6. 15. Эквивалентная схема конденсатора с диэлектрическими потерями.

На векторной диаграмме φ —угол сдвига фаз, δ —угол потерь.

в виду, что для электролитиков угол потерь может быть настолько велик, что пользоваться вышеприведенными приближенными равенствами нельзя. В этом случае качество конденсаторов следует выражать через $\cos \varphi$, определяемый уже по общим электротехническим правилам.

Если угол потерь δ выражен не в радианах, а числом градусов, то величины $\operatorname{tg} \delta$ и $\cos \varphi$ можно вычислять, пользуясь соотношениями:

$$\cos \varphi \approx \operatorname{tg} \delta^\circ \approx 1,74 \cdot \delta^\circ.$$

Этими соотношениями можно пользоваться только в пределах $\delta = 10-15^\circ$; при больших углах δ необходимо вычисления производить по тригонометрическим таблицам.

Конденсатор, имеющий проводимость, вызывающую постоянный ток утечки, может быть представлен эквивалентной схемой рис. 6. 16. На этом же рисунке с правой стороны показана соответствующая векторная диаграмма, на которой отмечены угол сдвига φ и угол потерь $\delta = 90 - \varphi$.

При малых величинах угла потерь сопротивление R_s диэлектрических потерь и сопротивление утечки R_y могут быть объединены вместе. Пересчет последовательного сопротивления R_s в эквивалентное параллельное сопротивление R_y (или обратно) может быть произведен по формулам:

$$R_s = \frac{1}{\omega^2 C^2 R_y} \quad \text{и} \quad R_y = \frac{1}{\omega^2 C^2 R_s}.$$

Связь между косинусом φ и эквивалентными сопротивлениями следующая:

$$\cos \varphi (\%) = \frac{f \cdot C \cdot R_g}{1600},$$

или

$$\cos \varphi (\%) = \frac{16\,000\,000}{f \cdot C \cdot R_y}.$$

В этих двух формулах:

$\cos \varphi (\%)$ — косинус φ , выраженный в процентах от максимально возможного случая $\cos \varphi = 1$,

f — действующая частота в герцах,

C — емкость в микрофарадах,

R_g — последовательное эквивалентное сопротивление (см. рис. 6.15) в омах,

R_y — параллельное эквивалентное сопротивление (см. рис. 6.16) в омах.

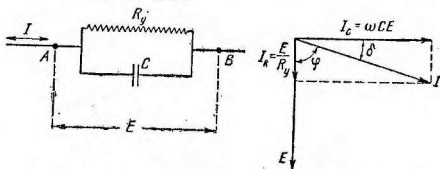


Рис. 6.16. Эквивалентная схема конденсатора с утечкой.

На векторной диаграмме φ — угол сдвига фаз, δ — угол потерь.

Если измерения производятся при технической частоте $f = 50$ гц, приведенные соотношения принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi (\%) &= \frac{C \cdot R_g}{32} \\ \cos \varphi (\%) &= \frac{320\,000}{C \cdot R_y} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &C \text{ — в микрофарадах,} \\ &R_g \text{ и } R_y \text{ — в омах.} \end{aligned}$$

На рис. 6.17—6.26 приведены различные типовые характеристики электролитиков как мокрого типа, так и сухого. В зависимости от изготовления количественные показатели этих типовых характеристик могут несколько изменяться, однако общий характер кривых рис. 6.19—6.26 останется тем же. Мокрые электролитики могут работать только при температурах выше 0° , так как при более низкой температуре жидкий электролит замерзнет.

В табл. 6.6 дан перечень электролитиков, выпускаемых заводом «Электросигнал», с некоторыми данными этих электролитиков.

Таблица 6.6

№ по пор.	Номинальная емкость в мкф	Напряжение в в		Ток утечки при рабочем напряжении в ма	Диаметр гильзы или стакана в мм	Полная длина (высота) в мм
		рабочее	пииковое			
1	1	70	85	0,03	12	38
2	2	450	500	0,3	21	66
3	3	100	120	0,05	15	55
4	4	18	20	0,04	12	38
5	4	150	170	0,2	15	70
6	4	450	500	0,6	27	70
7	10	15	20	0,1	15	55
8	10	300	350	1,0	35	130
9	10	450	500	1,0	35	130
10	100	18	20	0,2	35	75
11	200	12	15	0,2	35	130
12	200	40	50	2,0	46,6	130
13	500	12	15	0,5	65	130
14	500	40	50	5,0	65	130
15	1800	12	15	1,8	72	130

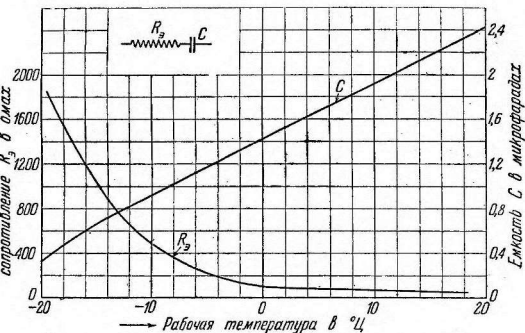


Рис. 6. 17. Зависимость емкости и эквивалентного последовательного сопротивления от температуры.

Кривая снята для конденсатора 2,5 мкф, 400 в Ростовского госуниверситета.

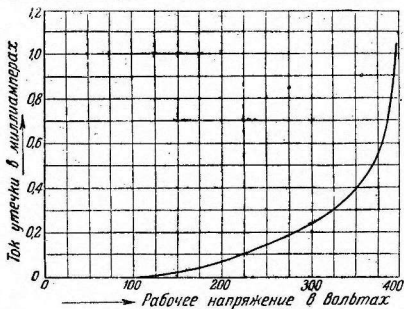


Рис. 6. 18. Зависимость тока проводимости от приложенного напряжения для конденсатора 2,5 мкф, 400 в Ростовского госуниверситета.

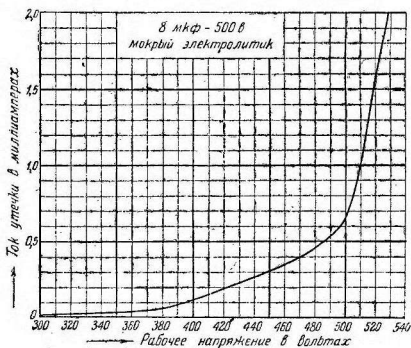


Рис. 6. 19. Зависимость тока утечки мокрого электролитика от рабочего напряжения.

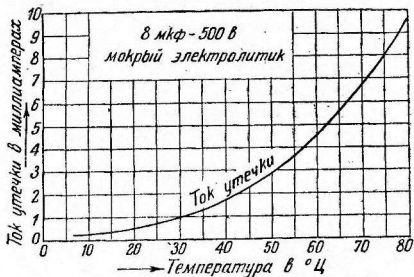


Рис. 6. 20. Зависимость тока утечки мокрого электролитика от рабочей температуры.

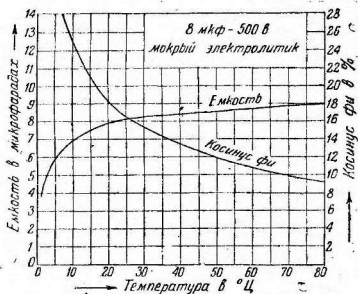


Рис. 6. 21. Изменение емкости и косинуса фи от рабочей температуры (для мокрого электролитика).

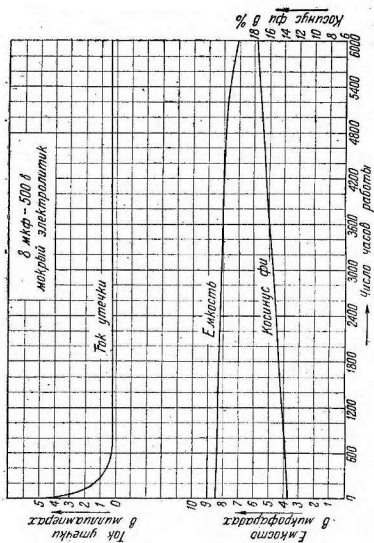


Рис. 6. 22. Изменение основных параметров мокрого электролитика при продолжительном сроке службы.

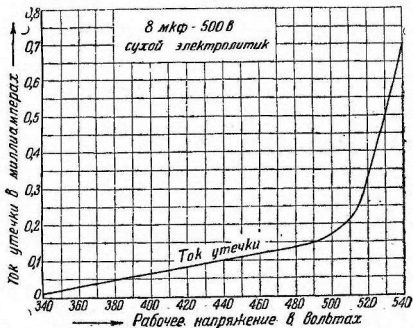
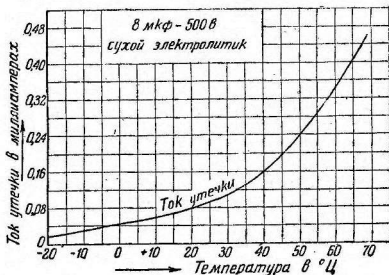


Рис. 6. 23. Зависимость тока утечки сухого электролитика от рабочего напряжения.



[Рис. 6. 24: Зависимость тока утечки сухого электролитика от рабочей температуры.

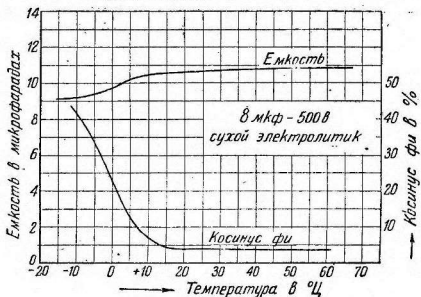


Рис. 6. 25. Зависимость емкости и косинуса ϕ сухого электролитика от рабочей температуры.

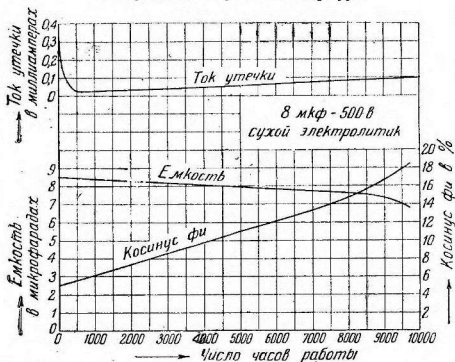


Рис. 6. 26. Зависимость основных параметров сухого электролитика от срока службы.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА L , C , λ , f И ДРУГИХ ВЕЛИЧИН, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Собственная частота контура, составленного из емкости C и индуктивности L , определяется при отсутствии у данного контура затухания по упрощенной формуле Томсона:

$$\text{частота } f \text{ (герцы)} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

$$\text{угловая частота } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

или, выражая через период:

$$T = 2\pi \sqrt{LC} \text{ (секунд)}.$$

В этих формулах L — в генри и C — в фарадах.

В радиотехнической практике чаще всего приходится встречаться с такими видоизменениями формулы Томсона для радиочастот:

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}} = 0,0628 \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}} = 1,885 \sqrt{L_{mkzn} \cdot C_{mkknf}}$$

или

$$f_{кец} = \frac{4770000}{\sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}}} = \frac{5030}{\sqrt{L_{cm} \cdot C_{mknf}}} = \frac{151000}{\sqrt{L_{mkzn} \cdot C_{cm}}},$$

для низких частот

$$f \text{ (герцы)} = \frac{159}{\sqrt{L_{zn} \cdot C_{mknf}}}.$$

В большинстве случаев, встречающихся в практике, эти приближенные формулы дают результаты вполне удовлетворяющей точности. В тех же случаях, когда действующее сопротивление R контура сравнительно велико, оно может оказывать влияние на частоту данного контура (увеличение R увеличивает несколько длину волны контура). Вычисление произ-

водится по следующим формулам:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \text{ (генри, фарады, омы);}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}}{12,6L} \text{ (герцы);}$$

$$T = \frac{2\pi \sqrt{LC}}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}} \text{ (секунды);}$$

и для радиочастотных цепей при L и C , выражаемых в сантиметрах:

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C_{cm}}{3600 L_{cm}}}}.$$

Переход колебательного процесса в аperiodический происходит тогда, когда удовлетворяется равенство:

$$\frac{R^2 C}{4L} = 1 \text{ (омы, фарады, генри),}$$

или при L и C в сантиметрах:

$$\frac{R^2 C_{cm}}{3600 L_{cm}} = 1,$$

откуда критическое сопротивление, прекращающее всякие периодические колебания в контуре:

$$R_{кр} \geq 60 \sqrt{\frac{L_{cm}}{C_{cm}}}.$$

Волновое характеристическое сопротивление контура или линии:

$$\rho = \omega L = \frac{1}{\omega C} = \sqrt{\frac{L_{cm}}{C_{cm}}} = 30 \sqrt{\frac{L_{cm}}{C_{cm}}}.$$

Затухание колебаний в контуре происходит по формуле:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha T} \cdot \sin \omega t.$$

Здесь $\alpha = \frac{R}{2L}$ — множитель затухания.

Показатель степени αT называется логарифмическим декрементом затухания или просто декрементом и обозначается через δ : (при незатухающих колебаниях $\delta = 0$):

$$\delta = \alpha T = \pi R \sqrt{\frac{C_{cm}}{L_{cm}}} \approx 0,1 R \sqrt{\frac{C_{cm}}{L_{cm}}}.$$

Декремент затухания с добротностью контура $D \left(= \frac{\omega L}{R} \right)$ связан следующим равенством:

$$\begin{aligned} D &= \frac{\omega L}{R} = \frac{\pi}{\delta}; \\ \delta &= \frac{\pi}{D} = \frac{\pi R}{\omega L}. \end{aligned}$$

Декремент затухания δ означает, какая доля энергии расходуется в контуре за 1 полупериод.

Постоянной времени называется величина, обратная множителю затухания α . Эта величина $\left(\frac{1}{\alpha} \right)$ является тем отрезком времени, в течение кото-

рого амплитуда колебаний уменьшается до $\frac{1}{e} \approx 0,37$ своего первоначального значения (e — основание натуральных логарифмов, равное 2,718...).

Декрементом за период называется отношение двух соседних амплитуд (токов или напряжений) одинакового знака. Это отношение равно:

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{I_2}{I_5} = \dots = e^{\alpha T} = e^{\delta}.$$

Натуральный логарифм ($\delta = \alpha T$) этого отношения (декремента за период) и есть то, что принято теперь называть просто *декрементом*. Число колебаний, в течение которых первоначальная амплитуда упадет

$$\text{до } 5\% \text{ равно } \frac{3}{\delta}, \quad \text{до } 1\% \text{ равно } \frac{4,6}{\delta},$$

$$\text{» } 2\% \text{ » } \frac{4}{\delta}, \quad \text{» } 0,5\% \text{ » } \frac{5,3}{\delta}.$$

Соотношения между частотой f , периодом T и длиной волны λ следующие:

$$f = \frac{1}{T}, \quad \text{или} \quad T = \frac{1}{f}.$$

Здесь T — время 1 периода колебания в секундах, f — частота колебаний в герцах.

Обозначая через v скорость света, равную $3 \cdot 10^{10}$ см/сек, или $3 \cdot 10^8$ м/сек, получим:

$$\lambda_m = v \cdot T = 3 \cdot 10^8 T = \frac{3 \cdot 10^8}{f}.$$

При определении длины волны в метрах и частоты в килогерцах между ними получаются следующие соотношения:

$$\lambda_m = \frac{300\,000}{f_{\text{кГц}}} \quad \text{или} \quad f_{\text{кГц}} = \frac{300\,000}{\lambda_m}.$$

ТАБЛИЦА ЧАСТОТ И ДАННЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ

Для облегчения и ускорения вычислений длин волн, коэффициентов индуктивности и емкости и других цифровых величин, характеризующих электрические данные колебательного контура, приводим сводную табл. 7. 1 уже вычисленных для разных волн величин. Следует иметь в виду,

Таблица 7.1

Волна λ в м	Частота f в кГц	Угловая частота $\omega = 2\pi f$ f в гц	Произведение LC		Емкостное сопротивле- ние конденса- тора в 200 см в ом	Индуктив- ность, диаго- наль резонан- са при $C=200$ см в см	Разность длины волны, каждая измененная частотой на		
			$L_{см} \cdot C_{см}$	$L_{мкн} \cdot C_{мкн}$			в м	в м	5 кГц
1	300 000	1 885 000 000	253	0,28	2,39	—	0,000003	0,000016	0,000016
2	150 000	943 000 000	1 013	1,13	4,77	—	0,000013	0,000066	0,000066
3	100 000	628 000 000	2 280	2,53	7,16	—	0,000003	0,000016	0,000016
4	75 000	471 000 000	4 050	4,50	9,55	—	0,000005	0,000026	0,000026
5	60 000	377 000 000	6 330	7,04	11,9	—	0,000008	0,000042	0,000042
6	50 000	314 000 000	9 120	10,1	14,4	45	0,000012	0,000060	0,000060
7	42 900	269 000 000	12 400	13,8	16,7	62	0,000016	0,000081	0,000081
8	37 500	236 000 000	16 200	18,0	19,1	81	0,000021	0,000107	0,000107
9	33 300	209 000 000	20 500	22,8	21,5	102	0,000027	0,00013	0,00013
10	30 000	188 000 000	25 300	28,2	23,9	126	0,000033	0,00016	0,00016
15	20 000	126 000 000	57 000	63,4	35,8	280	0,000075	0,00037	0,00037
20	15 000	94 300 000	101 000	113	47,7	500	0,00013	0,00067	0,00067
25	12 000	75 400 000	158 000	176	59,7	790	0,00021	0,0104	0,0104
30	10 000	62 800 000	228 000	253	71,6	1 140	0,00030	0,0150	0,0150
35	8 570	53 900 000	310 000	345	83,6	1 550	0,00048	0,0204	0,0204
40	7 500	47 100 000	405 000	450	95,5	2 020	0,00053	0,027	0,027
45	6 670	41 900 000	513 000	570	108	2 560	0,00068	0,034	0,034
50	6 000	37 700 000	633 000	704	119	3 160	0,00083	0,042	0,042
55	5 450	34 300 000	766 000	851	131	3 830	0,010	0,050	0,050
60	5 000	31 400 000	912 000	1 010	144	4 560	0,012	0,060	0,060

$\times 10$	$\times \frac{1}{10}$	$\times \frac{1}{10}$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 100$	—
65	4 620	29 000 000	1 070 000	1 190	155	5 030	0,014	0,070
70	4 290	26 900 000	1 240 000	1 380	167	6 200	0,016	0,082
75	4 000	25 100 000	1 430 000	1 580	179	7 150	0,019	0,094
80	3 750	23 600 000	1 620 000	1 800	191	8 100	0,021	0,11
85	3 530	22 200 000	1 830 000	2 030	203	9 150	0,024	0,12
90	3 330	20 900 000	2 050 000	2 280	215	10 250	0,027	0,14
95	3 160	19 800 000	2 280 000	2 540	227	11 400	0,030	0,15
100	3 000	18 800 000	2 530 000	2 820	239	12 600	0,033	0,17
110	2 730	17 100 000	3 070 000	3 410	262	15 350	0,040	0,20
120	2 500	15 700 000	3 650 000	4 050	286	18 200	0,048	0,24
130	2 310	14 500 000	4 260 000	4 760	310	21 300	0,056	0,28
140	2 140	13 500 000	4 970 000	5 520	334	24 800	0,065	0,33
150	2 000	12 600 000	5 700 000	6 340	358	28 500	0,075	0,36
160	1 880	11 800 000	6 490 000	7 210	382	32 400	0,085	0,43
170	1 760	11 100 000	7 320 000	8 140	406	36 600	0,096	0,48
180	1 670	10 500 000	8 210 000	9 120	429	41 000	0,108	0,54
190	1 580	9 920 000	9 150 000	10 200	453	45 700	0,120	0,60
200	1 500	9 430 000	10 100 000	11 300	477	50 400	0,133	0,67
205	1 460	9 190 000	10 700 000	11 800	489	53 500	0,139	0,70
210	1 430	8 970 000	11 200 000	12 400	501	56 000	0,147	0,74
215	1 400	8 770 000	11 700 000	13 000	513	58 500	0,154	0,77
220	1 360	8 570 000	12 300 000	13 600	525	61 800	0,161	0,81
225	1 330	8 370 000	12 800 000	14 300	537	64 000	0,169	0,85

Волна λ в м	Частота f в кГц	Угловая частота $\omega = 2\pi f$ в рад/с	Произведение LC		Емкостное сопротивле- ние конденса- тора в 200 см в Ом	Индуктив- ность, даю- щая резо- нанс, при $C=200$ см в см	Разность длин волн, да- ющая изменение частоты на	
			$L_{см} \cdot C_{см}$	$L_{микр} \cdot C_{микр}$			1 кГц	5 кГц
230	1 300	8 190 000	13 400 000	14 500	549	67 000	0,176	0,88
235	1 280	8 020 000	14 000 000	15 600	561	70 000	0,184	0,92
240	1 250	7 860 000	14 600 000	16 200	573	73 000	0,192	0,96
245	1 220	7 690 000	15 200 000	16 900	584	76 000	0,129	1,0
250	1 200	7 540 000	15 800 000	17 600	596	79 000	0,208	1,04
255	1 180	7 390 000	16 500 000	18 300	608	82 500	0,217	1,08
260	1 150	7 250 000	17 100 000	17 100	620	85 500	0,225	1,13
265	1 130	7 110 000	17 800 000	19 800	632	89 000	0,234	1,17
270	1 110	6 980 000	18 500 000	20 500	644	92 400	0,243	1,22
275	1 090	6 850 000	19 200 000	21 300	656	96 000	0,252	1,26
280	1 070	6 630 000	19 900 000	22 100	668	99 400	0,261	1,31
285	1 050	6 620 000	20 600 000	22 900	680	103 000	0,271	1,36
290	1 040	6 500 000	21 300 000	23 700	692	106 500	0,280	1,40
295	1 020	6 390 000	22 000 000	24 500	704	110 000	0,290	1,45
300	1 000	6 280 000	22 800 000	25 300	716	114 000	0,300	1,50
305	984	6 180 000	23 600 000	26 200	728	118 000	0,310	1,55
310	968	6 080 000	24 300 000	27 000	740	121 500	0,320	1,60
315	953	5 990 000	25 100 000	27 900	752	125 500	0,331	1,66
320	938	5 890 000	25 900 000	28 800	764	129 500	0,341	1,71
325	923	5 800 000	26 800 000	29 700	775	134 000	0,352	1,76

(Продолжение табл. 7.1)

Волна λ в м	Частота f в кГц	Угловая частота $\omega = 2\pi f$ в рад/с	Произведение LC		Емкостное сопротивле- ние конденса- тора в 200 см в ом	Индуктив- ность дая- щая, резо- нанс при $C=200$ см в см	Разность длин волн, дающая изменение частоты на	
			$L_{\text{см}} \cdot C_{\text{см}}$	$L_{\text{мкн}} \cdot C_{\text{мкн,мдф}}$			1 кГц	5 кГц
455	659	4 140 000	52 400 000	58 300	1 085	262 000	0,690	3,45
460	653	4 100 000	53 600 000	59 600	1 097	268 000	0,705	3,53
465	645	4 050 000	54 800 000	60 900	1 110	274 000	0,716	3,58
470	639	4 010 000	55 900 000	62 900	1 122	279 000	0,737	3,68
475	632	3 970 000	57 100 000	63 500	1 134	285 000	0,753	3,77
480	625	3 930 000	58 400 000	64 900	1 145	292 000	0,768	3,84
485	619	3 890 000	59 600 000	66 200	1 157	298 000	0,784	3,92
490	612	3 850 000	60 800 000	67 600	1 170	304 000	0,801	4,0
495	606	3 810 000	62 100 000	69 000	1 180	310 000	0,815	4,1
500	600	3 770 000	63 300 000	70 400	1 193	316 000	0,833	4,2
510	588	3 700 000	65 900 000	73 300	1 220	329 000	0,867	4,3
520	577	3 630 000	68 500 000	76 200	1 240	342 000	0,902	4,5
530	566	3 560 000	71 100 000	79 100	1 265	355 000	0,936	4,6
540	556	3 490 000	73 900 000	82 100	1 290	369 000	0,972	4,9
550	545	3 430 000	76 600 000	85 100	1 310	383 000	1,010	5,1
560	536	3 370 000	79 400 000	88 300	1 340	397 000	1,05	5,3
570	527	3 310 000	82 300 000	91 500	1 360	411 000	1,08	5,4
580	517	3 250 000	85 200 000	94 700	1 380	426 000	1,12	5,6
590	509	3 200 000	88 200 000	98 000	1 410	441 000	1,16	5,8
600	500	3 140 000	91 200 000	101 000	1 430	456 000	1,20	6,0

$\times 10$	$\frac{1}{\times 10}$	$\frac{1}{\times 10}$	$\times 100$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 100$	—	—
610	492	3 090 000	94 300 000	105 000	1 460	471 000	1.24	6.2
620	484	3 040 000	97 400 000	108 000	1 480	487 000	1.28	6.4
630	476	2 990 000	101 000 000	112 000	1 500	505 000	1.32	6.6
640	469	2 950 000	104 000 000	115 000	1 530	520 000	1.37	6.9
650	462	2 900 000	107 000 000	119 000	1 550	535 000	1.41	7.1
660	455	2 860 000	110 000 000	123 000	1 575	550 000	1.45	7.3
670	448	2 810 000	114 000 000	126 000	1 600	558 000	1.50	7.5
680	441	2 770 000	117 000 000	130 000	1 620	585 000	1.54	7.7
690	435	2 730 000	121 000 000	134 000	1 650	605 000	1.59	8.0
700	429	2 690 000	124 000 000	138 000	1 670	620 000	1.63	8.2
710	423	2 660 000	128 000 000	142 000	1 690	640 000	1.68	8.4
720	417	2 620 000	131 000 000	146 000	1 720	655 000	1.73	8.7
730	411	2 580 000	135 000 000	150 000	1 740	675 000	1.78	8.9
740	406	2 550 000	139 000 000	154 000	1 770	705 000	1.83	9.2
750	400	2 510 000	143 000 000	158 000	1 790	715 000	1.88	9.4
760	395	2 480 000	146 000 000	163 000	1 810	730 000	1.93	9.7
770	390	2 450 000	150 000 000	167 000	1 840	750 000	1.98	9.9
780	385	2 420 000	154 000 000	171 000	1 860	770 000	2.03	10.2
790	380	2 390 000	158 000 000	176 000	1 880	790 000	2.08	10.4
800	375	2 360 000	162 000 000	180 000	1 910	810 000	2.13	10.6
810	371	2 330 000	166 000 000	185 000	1 930	830 000	2.19	11.0
820	366	2 300 000	170 000 000	189 000	1 960	850 000	2.24	11.2
830	361	2 270 000	175 000 000	194 000	1 980	875 000	2.30	11.5
840	357	2 240 000	178 000 000	199 000	2 000	890 000	2.36	11.8
850	353	2 220 000	183 000 000	203 000	2 030	914 000	2.41	12.1

Волна λ в м	Частота f в кГц	Угловая частота $\omega = 2\pi f$ в рад/с	Проведение LC		Емкостное сопротивле- ние конденса- тора в 200 см в ом	Индуктив- ность, диаго- наль при $C=200$ см в см	Разность длины волны, дающая изменение частоты на	
			$L_{см} \cdot C_{см}$	$L_{мкн} \cdot C_{мкн}$			в м	в м
860	349	2 190 000	187 000 000	208 000	2 050	935 000	2,46	12,3
870	345	2 170 000	192 000 000	213 000	2 080	960 000	2,52	12,6
880	341	2 140 000	196 000 000	218 000	2 100	980 000	2,58	12,9
890	337	2 120 000	201 000 000	223 000	2 120	1 005 000	2,64	13,2
900	333	2 090 000	205 000 000	228 000	2 150	1 025 000	2,70	13,5
910	330	2 070 000	210 000 000	233 000	2 170	1 050 000	2,76	13,8
920	326	2 050 000	214 000 000	238 000	2 200	1 070 000	2,82	14,1
930	323	2 030 000	219 000 000	243 000	2 220	1 095 000	2,88	14,4
940	319	2 010 000	224 000 000	249 000	2 240	1 120 000	2,94	14,7
950	316	1 980 000	228 000 000	254 000	2 270	1 140 000	3,01	15,1
960	313	1 960 000	233 000 000	259 000	2 290	1 165 000	3,07	15,4
970	309	1 940 000	238 000 000	265 000	2 310	1 190 000	3,14	15,7
980	306	1 920 000	243 000 000	270 000	2 340	1 215 000	3,20	16,0
990	303	1 900 000	248 000 000	276 000	2 360	1 240 000	3,27	16,4
1 000	300	1 890 000	253 000 000	282 000	2 390	1 265 000	3,33	16,7
1 020	293,9	1 850 000	263 000 000	292 000	2 430	1 315 000	3,5	17,4
1 040	288,3	1 810 000	274 000 000	305 000	2 480	1 370 000	3,6	18,2
1 060	282,8	1 780 000	285 000 000	317 000	2 530	1 425 000	3,8	19,0
1 080	277,6	1 745 000	296 000 000	329 000	2 580	1 480 000	4,0	20,0
1 100	273,6	1 710 000	307 000 000	341 000	2 620	1 535 000	4,2	20,9

$\times 10$	$\frac{1}{\times 10}$	$\times 100$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 100$	—	—
1 120	267,7	1 680 000	318 000 000	353 000	2 670	1 590 000	4,4	21,8	
1 140	263,0	1 650 000	320 000 000	365 000	2 720	1 650 000	4,5	22,6	
1 160	258,5	1 625 000	341 000 000	379 000	2 770	1 705 000	4,7	23,4	
1 180	254,1	1 596 000	353 000 000	392 000	2 820	1 760 000	4,8	24,2	
1 200	250,0	1 570 000	365 000 000	405 000	2 860	1 820 000	5,0	25,0	
1 220	245,0	1 545 000	377 000 000	419 000	2 910	1 880 000	5,1	25,6	
1 240	241,8	1 520 000	389 000 000	432 000	2 960	1 940 000	5,2	26,2	
1 260	238,0	1 495 000	402 000 000	447 000	3 000	2 010 000	5,4	26,8	
1 280	234,2	1 470 000	415 000 000	461 000	3 050	2 070 000	5,5	27,4	
1 300	230,6	1 450 000	428 000 000	476 000	3 100	2 140 000	5,6	28,1	
1 320	227,1	1 427 000	441 000 000	490 000	3 150	2 200 000	5,8	29,1	
1 340	223,7	1 407 000	455 000 000	506 000	3 200	2 270 000	6,0	30,1	
1 360	220,4	1 387 000	468 000 000	520 000	3 250	2 340 000	6,2	31,1	
1 380	217,3	1 365 000	482 000 000	536 000	3 290	2 410 000	6,4	32,1	
1 400	214,2	1 350 000	497 000 000	552 000	3 340	2 480 000	6,6	33,1	
1 420	211,1	1 327 000	510 000 000	567 000	3 390	2 550 000	6,8	34	
1 440	208,2	1 310 000	525 000 000	583 000	3 430	2 630 000	7,0	35	
1 460	205,4	1 229 000	540 000 000	600 000	3 480	2 700 000	7,2	36	
1 480	202,6	1 274 000	555 000 000	616 000	3 530	2 780 000	7,4	37	
1 500	200,0	1 260 000	570 000 000	634 000	3 580	2 850 000	7,5	38	
1 520	197,2	1 240 000	586 000 000	651 000	3 630	2 930 000	7,8	39	
1 540	194,7	1 225 000	600 000 000	666 000	3 670	3 000 000	8,0	40	
1 560	192,2	1 208 000	616 000 000	684 000	3 720	3 080 000	8,2	41	
1 580	189,8	1 193 000	632 000 000	702 000	3 770	3 160 000	8,4	42	
1 600	187,4	1 178 000	649 000 000	721 000	3 820	3 250 000	8,6	43	

Волна λ в м	Частота f в кГц	Угловая частота $\omega = 2\pi f$ в рад/с	Произведение LC		Емкостное сопротивле- ние конденса- тора в 200 см в ом	Индуктив- ность, даю- щая резонанс при $C = 200$ см в см	Равность длины волны, дающая изменение частоты на	
			$L_{см} \cdot C_{см}$	$L_{мкхл} \cdot C_{мкхл}$			в м	в кГц
1 620	185,1	1 164 000	664 000 000	737 000	3 860	3 320 000	8,7	44
1 640	182,8	1 148 000	681 000 000	756 000	3 910	3 400 000	8,9	45
1 660	180,6	1 130 000	698 000 000	775 000	3 960	3 490 000	9,2	46
1 680	178,5	1 120 000	712 000 000	791 000	4 010	3 560 000	9,4	47
1 700	176,4	1 110 000	732 000 000	814 000	4 060	3 660 000	9,6	48
1 720	174,3	1 095 000	749 000 000	832 000	4 100	3 750 000	9,9	50
1 740	172,3	1 083 000	767 000 000	852 000	4 150	3 840 000	10,1	51
1 760	170,4	1 070 000	784 000 000	870 000	4 200	3 920 000	10,3	52
1 780	168,4	1 058 000	802 000 000	891 000	4 250	4 010 000	10,6	53
1 800	166,6	1 047 000	821 000 000	912 000	4 290	4 110 000	10,8	54
1 820	164,7	1 035 000	839 000 000	932 000	4 340	4 200 000	11,0	55
1 840	162,9	1 024 000	858 000 000	954 000	4 390	4 290 000	11,3	57
1 860	161,2	1 013 000	876 000 000	974 000	4 440	4 380 000	11,5	58
1 880	159,5	1 002 000	895 000 000	994 000	4 490	4 480 000	11,8	59
1 900	157,8	992 000	915 000 000	1 020 000	4 530	4 580 000	12,0	60
1 920	156,2	982 000	934 000 000	1 037 000	4 580	4 670 000	12,3	61
1 940	154,5	971 000	954 000 000	1 060 000	4 630	4 770 000	12,6	63
1 960	153,0	962 000	973 000 000	1 080 000	4 670	4 870 000	12,8	64
1 980	151,4	952 000	990 000 000	1 100 000	4 720	4 950 000	13,1	66
2 000	150,0	943 000	1 010 000 000	1 120 000	4 770	5 050 000	13,4	67

2500	120,0	754 000	$1,58 \cdot 10^9$	1 760 000	5 960	7 900 000	20,1 или 21
3000	100,0	628 000	$2,28 \cdot 10^9$	2 530 000	7 160	11 400 000	29,7 » 30,3
3500	85,7	539 000	$3,10 \cdot 10^9$	3 450 000	8 350	15 500 000	40,4 » 41,4
4000	75,0	471 000	$4,05 \cdot 10^9$	4 500 000	9 540	20 200 000	52,7 » 54,1
4500	66,7	419 000	$5,13 \cdot 10^9$	5 700 000	10 700	25 700 000	66,5 » 68,5
5000	60,0	377 000	$6,33 \cdot 10^9$	7 040 000	11 900	31 700 000	82 » 84,8
5500	54,5	343 000	$7,66 \cdot 10^9$	8 510 000	13 100	38 300 000	99 » 103
6000	50,0	314 000	$9,12 \cdot 10^9$	10 100 000	14 300	45 600 000	118 » 122
6500	46,2	290 000	$10,7 \cdot 10^9$	11 900 000	15 500	53 500 000	138 » 144
7000	42,9	269 000	$12,4 \cdot 10^9$	13 800 000	16 700	62 000 000	160 » 167
7500	40,0	251 000	$14,4 \cdot 10^9$	15 800 000	17 900	72 000 000	183 » 192
8000	37,5	236 000	$16,2 \cdot 10^9$	18 000 000	19 000	81 000 000	208 » 219
8500	35,3	222 000	$18,3 \cdot 10^9$	20 000 000	20 300	91 500 000	294 » 248
9000	33,3	209 000	$21,0 \cdot 10^9$	23 000 000	21 500	0,105 г/ч	222 » 278
9500	31,6	198 000	$22,9 \cdot 10^9$	25 400 000	22 700	0,114 »	291 » 311
10000	30,0	189 000	$25,3 \cdot 10^9$	28 200 000	23 900	0,0127 »	323 » 345
11000	27,3	171 000	$30,7 \cdot 10^9$	34 100 000	26 200	0,154 »	389 » 419
12000	25,0	157 000	$36,5 \cdot 10^9$	40 500 000	28 600	0,183 »	462 » 500
13000	23,1	145 000	$42,8 \cdot 10^9$	47 600 000	31 000	0,214 »	540 » 589
14000	21,4	135 000	$49,1 \cdot 10^9$	55 200 000	33 400	0,245 »	625 » 686
15000	20,0	126 000	$57,0 \cdot 10^9$	63 300 000	35 800	0,285 »	715 » 790
16000	18,8	118 000	$67,4 \cdot 10^9$	72 100 000	38 200	0,337 »	811 » 902
17000	17,6	111 000	$73,2 \cdot 10^9$	81 400 000	40 600	0,366 »	912 » 1021
18000	16,7	105 000	$82,1 \cdot 10^9$	91 200 000	42 900	0,410 »	1020 » 1150

Волна λ в м	Частота f в кГц	Угловая частота $\omega = 2\pi f$ в рад/с	Произведение LC		Емкостное сопротивле- ние конденса- тора в 200 см в Ом	Индуктив- ность, лав- ная резонан- с при $C=200$ см в см	На сколько метров нужно укоротить или удлинить волну для получения блески 1000 гц
			$L_{\text{см}} \cdot C_{\text{см}}$	$L_{\text{мкГн}} \cdot C_{\text{мкГнФ}}$			
19 000	15,8	99 000	$91,4 \cdot 10^9$	102 000 000	45 300	0,457 гн	1 130 или 1 280
20 000	15,0	94 000	$101,4 \cdot 10^9$	113 000 000	47 700	0,506 »	1 250 » 1 430
21 000	14,3	89 700	$112 \cdot 10^9$	124 000 000	50 100	0,560 »	1 370 » 1 580
22 000	13,6	85 700	$123 \cdot 10^9$	136 000 000	52 500	0,615 »	1 500 » 1 740
23 000	13,0	81 900	$134 \cdot 10^9$	149 000 000	54 900	0,670 »	1 640 » 1 910
24 000	12,5	78 600	$146 \cdot 10^9$	162 000 000	57 300	0,730 »	1 780 » 2 090
25 000	12,0	75 400	$157 \cdot 10^9$	176 000 000	59 600	0,785 »	1 920 » 2 270
26 000	11,5	72 500	$169 \cdot 10^9$	190 000 000	62 000	0,845 »	2 070 » 2 470
27 000	11,1	69 800	$185 \cdot 10^9$	205 000 000	64 400	0,925 »	2 230 » 2 670
28 000	10,7	67 300	$199 \cdot 10^9$	221 000 000	66 800	0,995 »	2 390 » 2 880
29 000	10,3	65 000	$213 \cdot 10^9$	237 000 000	69 200	1,065 »	2 560 » 3 100
30 000	10,0	62 800	$228 \cdot 10^9$	253 000 000	71 600	1,14 »	2 730 » 3 330
50 000	6,0	37 700	$633 \cdot 10^9$	704 000 000	119 000	3,16 »	7 150 » 10 000
100 000	3,0	18 900	$2533 \cdot 10^9$	282 000 000	238 000	12,6 »	—
300 000	1,0	6 280	$22,8 \cdot 10^{12}$	253 000 000	716 000	114 »	—
600 000	500 гц	3 140	$91,2 \cdot 10^{12}$	$1,013 \cdot 10^{11}$	1 430 000	456 »	—
6 000 000	50 »	314,2	$9,12 \cdot 10^{15}$	$1,013 \cdot 10^{13}$	14 300 000	45 600 »	—
$\times 10$	$\frac{1}{\times 10}$	$\frac{1}{\times 10}$	$\times 100$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 100$	—

что при помощи этой таблицы можно решать и целый ряд вспомогательных вопросов, не включенных в графы таблицы.

Графы таблицы составлены следующим образом.

1) Графа длин волн дана в метрах. В пределах от 200 до 2000 м соседние строки отличаются по величине друг от друга примерно на 1—2%. Указания внизу таблиц дают перевод этого диапазона в другие.

2) Частоты даны в килогерцах, вычисленных делением 300 000 на цифры графы 1 (длин волн).

3) Угловая частота в радианах в секунду вычислена умножением цифр предыдущей графы (частоты f) на $2\pi \times 1000$.

4—5) Чрезвычайно удобную базу для расчетов диапазонов и при прочих вопросах, связанных с длиной волны и др., величину представляет произведение LC . Величина этого произведения сразу (по данной таблице) определяет λ или f . Зная один из параметров контура (емкость или индуктивность), делением произведения на этот параметр легко найти другой. Во-

просы перекрытия диапазона с заданным по отношению $\frac{C_{\max}}{C_{\min}}$ конденса-

тором и подобные вопросы значительно ускоряются данными граф 4 и 5 таблицы, в особенности в тех случаях, когда ведущий подсчеты техник не пользуется логарифмической линейкой. Произведению LC посвящены два столбца цифр, что позволяет пользоваться емкостями, выраженными как в сантиметрах, так и в фарадной системе (обычно в микромикрофарадах).

6) Исходной точкой расчета емкостных и индуктивных сопротивлений взято емкостное сопротивление конденсатора в 200 см (что соответствует примерно средней части диапазона, перекрываемого обычным переменным конденсатором 500-сантиметровой емкости).

7) Индуктивность, дающая резонанс в указанной данной строкой частоте при средней емкости в 200 см, имеет индуктивное сопротивление, равное емкостному сопротивлению, указанному в предыдущей графе.

Последние две графы предназначены, главным образом, для прикидок, встречающихся в измерительной практике. Кроме того, эти графы полезны и для решения вопросов допустимого сближения волн радиовещательных станций, диапазона в метрах до боковой полосы, определяемой максимальной частотой модуляции в 5000 гц (5 кгц), при пользовании графиками, дающими величины избирательности, размещения телеграфных станций при разности их рабочих частот в 1 кгц, и для решения прочих вопросов.

Для быстрых приблизительных расчетов диапазонов можно пользоваться табл. 7. 2. Горизонтальные строки соответствуют различным индуктивностям, вертикальные графы — разным емкостям, величины которых взяты через 90 см, что соответствует 100 мкмкф.

КОЭФИЦИЕНТ СВЯЗИ

Когда две цепи так размещены или взаимно соединены, что энергия из одной цепи может передаваться в другую, они называются связанными цепями.

Степень связи определяется количественно коэффициентом связи, общая форма выражения которого следующая:

$$k = \frac{X_m}{\sqrt{X_1 X_2}},$$

где k — коэффициент связи двух цепей,

X_m — общее для обеих цепей реактивное (индуктивное или емкостное) сопротивление,

X_1 и X_2 — реактивные (того же типа, что и X_m , т. е. или индуктивные, или емкостные) сопротивления первой и второй цепей.

Например, коэффициент связи двух катушек с коэффициентами самоиндукции L_1 и L_2 , имеющими коэффициент взаимной индукции M , равен:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

(множитель ω , имевшийся при выражении реактивных сопротивлений для целой дроби, сокращается).

Коэффициент связи представляет собой отвлеченное число, часто выражаемое в процентах:

$$K\% = k \times 100\%.$$

Для простейшего типа цепей, изображенных на рис. 7. 1, коэффициент связи вычисляется следующим образом. Для цепи типа I на рис. 7. 1:

$$k_{AB} = \frac{M}{\sqrt{(L_1 + M)(L_2 + M)}},$$

где $(L_1 + M)$ обозначает полную индуктивность цепи A и $(L_2 + M)$ — полную индуктивность второй связанной цепи B.

На рис. 7. 1 (II) дан простейший тип емкостной связи (конденсатор C_m общий и для цепи A и для цепи B). Коэффициент связи для рис. 7. 1 (II) равен:

$$\frac{\sqrt{C_1 C_2}}{\sqrt{(C_1 + C_m)(C_2 + C_m)}}.$$

Коэффициент смешанной связи для цепи, изображенной на рис. 7. 1 (III), определяется как сумма или разность (в зависимости от того, находятся ли в фазе индуцируемые в контурах электродвижущие силы) отдельных коэффициентов емкостной и индуктивной связей:

$$k = k_1 \pm k_2,$$

где

$$k_1 = \frac{M}{\sqrt{(L_1 + L_3)(L_2 + L_4)}};$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_m)(C_2 + C_m)}}.$$

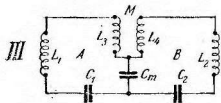


Рис. 7. 1.

Если обе связанные цепи колебательные и имеют равные (настроенные

Таблица 7. 2

Длины волн в метрах для разных L и C

$L_{\text{мкн}}$	$C_{\text{см}}$ 90	$C_{\text{см}}$ 180	$C_{\text{см}}$ 270	$C_{\text{см}}$ 360	$C_{\text{см}}$ 450	$C_{\text{см}}$ 540	$C_{\text{см}}$ 630	$C_{\text{см}}$ 720	$C_{\text{см}}$ 810	$C_{\text{см}}$ 900
1	19	27	33	38	42	46	50	53	57	60
2	27	33	46	53	60	65	71	75	80	84
3	33	46	57	65	73	80	86	92	98	103
4	38	53	65	75	84	92	100	107	113	119
5	42	60	73	84	94	103	112	119	126	133
6	46	65	80	92	103	113	122	131	139	146
7	50	71	86	100	112	122	132	141	150	158
8	53	75	92	107	119	131	141	151	160	169
9	57	80	98	113	126	139	150	160	170	179
10	60	84	103	119	133	146	158	169	179	188
12	65	92	113	131	146	160	173	185	196	206
14	71	100	122	141	158	173	187	199	212	223
16	75	107	131	151	169	185	199	213	226	238
18	80	113	139	160	179	196	212	226	240	253
20	84	119	146	169	188	209	223	238	253	267
25	94	133	163	188	211	231	249	267	283	298
30	103	146	179	206	231	253	278	292	310	326
40	119	169	206	238	267	292	315	337	358	377
50	133	188	231	267	298	326	353	377	400	421
60	146	206	253	292	326	358	386	413	438	462
70	154	223	273	315	353	386	417	446	473	499
80	169	238	292	337	357	413	436	477	506	533
90	179	253	310	358	400	438	473	506	536	565
100	188	267	326	377	421	462	490	533	565	599
120	206	292	358	413	462	506	546	584	619	653
140	223	315	386	446	499	516	590	681	669	705
160	238	337	403	477	533	584	631	674	715	754
180	253	358	438	506	565	619	669	715	759	800
200	267	377	462	533	596	653	705	754	800	843
250	298	421	516	596	666	730	789	843	894	942
300	326	462	566	653	730	800	864	923	1 079	1 032
400	377	533	653	754	843	923	997	1 066	1 131	1 192
500	421	596	730	843	949	1 032	1 115	1 192	1 264	1 333
600	462	653	800	923	1 032	1 131	1 221	1 306	1 385	1 461
700	499	705	864	977	1 115	1 221	1 320	1 410	1 496	1 576
800	533	754	920	1 066	1 192	1 316	1 410	1 509	1 599	1 681
900	565	800	979	1 131	1 264	1 385	1 446	1 599	1 696	1 718
1 000	596	843	1 032	1 192	1 333	1 460	1 573	2 686	1 788	1 885
1 200	653	928	1 131	1 306	1 460	1 599	1 727	2 846	1 951	2 065
1 400	705	992	1 231	1 410	1 577	1 727	1 886	2 995	2 160	2 230
1 600	754	1 066	1 306	1 509	1 686	1 846	1 995	2 123	2 262	2 384
1 800	800	1 131	1 385	1 599	1 788	1 959	2 116	2 262	2 399	2 529
2 000	843	1 192	1 460	1 686	1 885	2 065	2 230	2 384	2 529	2 665
2 500	942	1 333	1 632	1 625	2 108	2 302	2 493	2 665	2 837	2 989

Таблица настроек на звуковые частоты

Частота в гц	П р и н ц и п и н о с т и									
	10 мГц	30 мГц	100 мГц	250 мГц	500 мГц	1 гГц	2 гГц	5 гГц	10 гГц	20 гГц
10	25 320 мкф	8 440 мкф	2 532 мкф	1 013 мкф	506,4 мкф	253,2 мкф	126,6 мкф	50,6 мкф	25,3 мкф	12,7 мкф
50	1 013 »	338 »	101,3 »	40,5 »	20,3 »	10,13 »	5,06 »	2,03 »	1,013 »	0,506 »
100	253 »	84,4 »	25,3 »	10,1 »	5,06 »	2,53 »	1,27 »	0,506 »	0,253 »	0,127 »
120	176 »	58,3 »	17,6 »	7,04 »	3,52 »	1,76 »	0,88 »	0,352 »	0,176 »	79 000 см
140	129 »	43,0 »	12,9 »	5,16 »	2,58 »	1,29 »	0,645 »	0,26 »	0,129 »	58 000 »
160	99 »	33,0 »	9,9 »	3,96 »	1,98 »	0,99 »	0,495 »	0,20 »	89 000 см	44 500 »
180	78 »	26 »	7,8 »	3,12 »	1,56 »	0,78 »	0,390 »	0,156 »	70 000 »	35 000 »
200	63,3 »	21,1 »	6,3 »	2,52 »	1,26 »	0,63 »	0,315 »	0,126 »	57 000 »	28 500 »
250	40,5 »	13,5 »	4,05 »	1,62 »	0,81 »	0,405 »	0,203 »	73 000 см	36 500 »	18 300 »
300	28,3 »	9,44 »	2,83 »	1,13 »	0,566 »	0,283 »	0,141 »	51 000 »	25 500 »	12 700 »
350	20,7 »	6,9 »	2,07 »	0,83 »	0,414 »	0,207 »	93 000 см	37 200 »	18 600 »	9 300 »
400	15,8 »	5,3 »	1,58 »	0,63 »	0,316 »	0,158 »	71 000 »	28 400 »	14 200 »	7 100 »
500	10,1 »	3,38 »	1,01 »	0,404 »	0,202 »	0,101 »	45 600 »	18 200 »	9 100 »	4 560 »
600	7,03 »	2,35 »	0,703 »	0,281 »	0,140 »	63 300 см	31 500 »	12 700 »	6 330 »	3 150 »

100	2,11	1,12	0,311	0,201	93 000 CM	46 500	25 300	9 300	4 650	2 200
800	3,96	1,32	0,396	0,158	71 200	35 600	17 800	7 120	3 560	1 780
900	3,15	1,05	0,315	0,126	56 600	28 300	14 200	5 660	2 830	1 420
1 000	2,53	0,844	0,253	113 000 CM	45 600	22 800	11 400	4 560	2 280	1 140
1 200	1,76	0,583	0,176	63 000	31 600	15 800	7 900	3 160	1 580	790
1 500	1,125	0,375	0,113	40 500	20 200	10 120	5 060	2 020	1 012	309
2 000	0,633	0,211	57 000 CM	22 800	11 400	5 700	2 850	1 140	570	288
2 500	365 000 CM	122 000 CM	36 500	14 600	7 300	3 650	1 830	730	365	183
3 000	253 000	84 400	25 300	10 100	5 060	2 530	1 270	506	253	127
3 500	186 000	61 000	18 600	7 440	3 720	1 860	930	372	186	93
4 000	142 000	47 300	14 200	5 680	2 840	1 420	710	284	142	71
4 500	112 500	37 500	11 250	4 500	2 250	1 125	560	225	113	56
5 000	91 300	30 400	9 130	3 650	1 825	913	455	183	91	—
6 000	63 000	21 000	6 300	2 520	1 260	630	315	126	63	—
7 000	46 500	15 500	4 650	1 860	930	465	233	93	—	—
8 000	35 600	11 900	3 560	1 420	712	356	178	—	—	—
9 000	28 300	9 430	2 830	1 130	566	283	142	—	—	—
10 000	22 800	7 600	2 280	912	456	228	114	—	—	—
15 000	10 130	3 380	1 013	405	202	101	—	—	—	—

в резонанс) собственные частоты, система будет резонировать на две различные частоты:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \frac{\omega_0}{\sqrt{1+k}}, & f_1 &= \frac{f_0}{\sqrt{1+k}}, \\ \omega_2 &= \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k}}, & f_2 &= \frac{f_0}{\sqrt{1-k}},\end{aligned}$$

или

где ω_0 — резонансная частота, на которую настроены оба контура в отдельности,

k — коэффициент связи,

$\omega_1 (f_1)$ — меньшая резонансная частота,

$\omega_2 (f_2)$ — большая резонансная частота.

При разного рода подсчетах следует помнить, что при небольших значениях коэффициента связи k величина $\frac{1}{\sqrt{1+k}}$ приблизительно равна $1 - \frac{k}{2}$ и величина $\frac{1}{\sqrt{1-k}}$ приблизительно равна $1 + \frac{k}{2}$.

Когда разность этих частот (так называемых «горбов») невелика, кривая резонанса благодаря сливающимся «горбам» получается с плоской вершиной, система более или менее равномерно отзывается на целую полосу частот — это так называемый **полосовой фильтр**, весьма часто применяемый в современной приемно-усилительной схеме. Форма кривой зависит также и от затухания обоих контуров.

Величина коэффициента взаимной индукции, необходимая для пропуска полосы (между частотами «горбов») в 8 кГц:

$$M = \sqrt{\frac{(8000L)^2 + R^2}{f^2}},$$

где M — коэффициент взаимной индукции (генри),

L — индуктивность цепи в генри (принята одинаковой для обоих контуров),

R — активное сопротивление контура в омах (принято одинаковым для обоих контуров),

f — резонансная частота в герцах, на которую должны быть настроены оба контура в отдельности.

Для схемы емкости связи типа, изображенного на рис. 7.1 (II), расхождение между «горбами» резонансной кривой может быть вычислено по формуле:

$$\Delta = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C_m}\right)^2 - R^2}}{2\pi L},$$

где Δ — расхождение между частотой «горбов» в герцах,
 $\omega = 2\pi f$, где f — резонансная частота каждого контура в отдельности в герцах,

C_m — общая для обоих контуров емкость в фарадах,

R — активное сопротивление каждого контура в омах,

L — индуктивность каждого контура в генри (так же, как и R , принята одинаковой для обоих контуров).

ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ КОНТУРА

При настройке в резонанс напряжение на зажимах конденсатора или катушки колебательного контура (напряжения по величине одинаковы) получается в $\frac{\omega L}{R}$ раз больше, чем величина подаваемого к контуру напряжения.

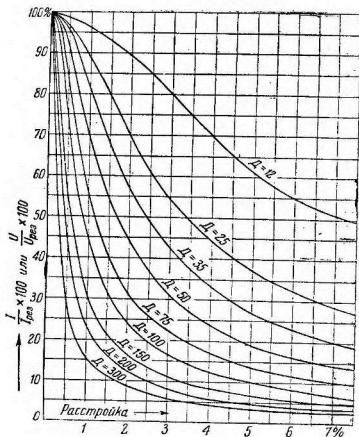


Рис. 7. 2.

Эта величина $\frac{\omega L}{R}$ ($\omega = 2\pi f$, f — частота в герцах, L — индуктивность

катушки в генри, R — активное сопротивление контура в омах) характеризует в основном все поведение контура и называется добротностью D катушки (конденсатор настройки вносит обычно очень мало потерь и поэтому добротность катушки и определяет собой добротность всего контура) или множителем напряжения.

Кривая резонанса данного контура с большой точностью может быть вычислена и вычерчена по формуле:

$$\frac{U}{U_{\text{рез}}} = \frac{I}{I_{\text{рез}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{50} \cdot \Delta\%\right)^2}}$$

Здесь отношения $\frac{U}{U_{\text{рез}}}$ и $\frac{I}{I_{\text{рез}}}$ показывают, какая часть максимально возможных (при резонансе) токов и напряжений получается при заданной расстройке.

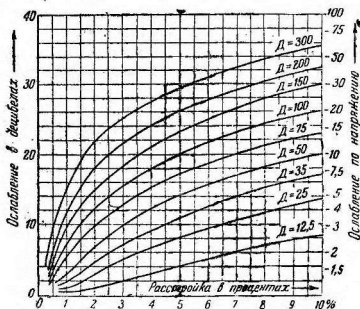


Рис. 7. 3.

Δ — расстройка в процентах, определяемая как

$$\left(\frac{f - f_{\text{рез}}}{f_{\text{рез}}} \cdot 100 \right).$$

D — добротность катушки, равная $\frac{\omega L}{R}$.

Для быстрых расчетов рекомендуем пользоваться приводимыми здесь графиками рис. 7.2 и рис. 7.3.

АКУСТИКА И ЭЛЕКТРОАКУСТИКА

ЕДИНИЦЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Звук называется волновое движение в воздухе (или в другой упругой материальной среде). Скорость звука в воздухе около 340 м/сек.

Период (T) — время (в секундах), в течение которого происходит полностью одно колебание (прошедшее через все промежуточные положения в обоих направлениях). **Полупериодом** называется обычно время между двумя нулевыми значениями периодической функции, между которыми переменная величина принимала значение только одного направления.

Частота (f) — число полных колебаний в секунду. Является величиной, обратной периоду: $f = \frac{1}{T}$. Единицей частоты является специальная единица — герц.

Герц (гу) — единица частоты, равная частоте в 1 период в секунду. При высоких частотах применяется составная единица — **килогерц (кгу)**, соответствующая частоте в 1000 гу.

Бар (б) — единица звукового давления (может учитываться максимальное или среднеквадратичное значение). Давление, испытываемое плоской поверхностью в 1 см² под действием равномерно по ней распределенной нагрузки силой в 1 дн (1 г = 981 дн). В физике баром иногда называется величина в 1 000 000 раз большая (единица давления 1 000 000 дн/см²).

Сила звука может измеряться: 1) в эргах в секунду на 1 см², 2) в ваттах на 1 см², 3) в микроваттах на 1 см².

Эрг в секунду на кв. сантиметр (сокращенно $\frac{\text{эрг}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}$) представляет поток свободно распространяющейся звуковой энергии в 1 э/сек, проходящий при равномерном распределении через плоскость, перпендикулярную к направлению распространения, в 1 см².

Основные соотношения между единицами, применяемыми для определения силы звука:

$$1 \frac{\text{эрг}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2} = 0,1 \frac{\text{мквт}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2} = 10^{-7} \frac{\text{вт}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}.$$

Механический ом (мехом) — механическое сопротивление системы в точке приложения неизменяющейся силы в 1 дн, под действием которой эта точка равномерно движется со скоростью 1 см/сек:

$$1 \text{ мехом} = \frac{\text{дн}}{\text{см/сек}}.$$

Акустический ом (аком) — акустическое сопротивление среды на данной поверхности, перпендикулярной к движению частиц среды, при котором

неизменяющееся избыточное давление в 1 б вызывает неизменяющуюся объемную скорость, равную 1 см³/сек:

$$1 \text{ аком} = \frac{б}{\text{см}^3/\text{сек}}$$

Статическое давление есть давление, которое существует в среде при отсутствии акустических волн.

Мгновенное звуковое давление в какой-либо точке звукового поля есть разность между давлением, существующим в этой точке в рассматриваемый момент, и статическим давлением. Единицей измерения является бар.

Примечание. Это давление иногда называют избыточным давлением или «звуковым давлением».

Эффективное звуковое давление в какой-либо точке есть средняя эффективная величина мгновенного звукового давления в этой точке за полный период. Единицей измерения является бар.

Пиковое звуковое давление для определенного промежутка времени есть максимальная абсолютная величина мгновенного звукового давления в течение этого промежутка. Единицей измерения является бар.

Плотность звуковой энергии измеряется обычно в эргах на куб. сантиметр.

Для звукового поля, ограниченного преградами, понятие о проходящей звуковой энергии целиком неприменимо, так как при наличии установившихся стоячих волн энергия не распространяется, а находится как бы в связанном состоянии с данным местом пространства. В таком случае говорят о плотности звуковой энергии и понимают под этим термином среднюю звуковую энергию, содержащуюся в 1 см³ пространства и измеряемую в эрг/см³.

Между плотностью звуковой энергии и силой звука (как величиной энергии, проходящей через 1 см²) существует следующая зависимость: сила звука, проходящей звуковой волны равна плотности звуковой энергии, умноженной на скорость распространения звука.

Акустический закон Ома. Основной закон акустики по форме и по смыслу аналогичен основному закону электротехники:

$$U = \frac{P}{\rho \cdot C},$$

где U — амплитуда скорости колеблющейся частицы воздуха (при синусоидальных колебаниях),

P — амплитуда давления,

$\rho \cdot C$ — акустическое сопротивление среды, представляющее произведение плотности среды ρ и скорости распространения звука C .

Равным образом аналогичны электротехническим формулам мощности и формулы силы звука:

$$I = P \cdot U = \frac{P^2}{\rho \cdot C} = U^2 \cdot \rho \cdot C,$$

где I — сила звука,

P — давление (эффективное значение),

U — скорость колеблющихся частиц (эффективное значение),

$\rho \cdot C$ — акустическое сопротивление (плотность среды на скорость звука).

Фон — применяемая иногда единица громкости, численно равная количеству децибелов данного звука относительно предела слышимости.

Громкость звука — субъективное качество, определяющее силу звукового ощущения, вызываемого звуком у определенного слушателя. Громкостью звука обычно называется количество децибел (фон), на которое данный звук превышает звук, принятый за минимальный предел слышимости. Слушание должно производиться обоими ушами. Ухо обладает наибольшей чувствительностью для тонов 1000—2000 *гц*. Поэтому за громкость звука принято считать условия, эквивалентные звуку, имеющему частоту 1000 *гц*; за нулевой уровень принята сила звука в $1 \cdot 10^{-16}$ *вт/см²*, что соответствует звуковому давлению в 0,0002 *б* (для частоты 1000 *гц*).

Громкость звука в децибелах (фонах) над порогом слышимости для 1000 *гц* может быть вычислена по следующим формулам:

$$L = 20 \lg P + 74;$$

$$L = 10 \lg W_1 + 160;$$

$$L = 10 \lg W_2 + 100.$$

Здесь L — громкость над порогом слышимости в децибелах,

P — звуковое давление в барах,

W_1 — звуковая мощность в ваттах на кв. сантиметр,

W_2 — звуковая мощность в микроваттах на кв. сантиметр.

Для перевода звукового давления в *мкв/см²* можно пользоваться следующими формулами:

$$400 W_2 = P^2 \text{ или иначе: } W_2 = 0,0025 P^2;$$

$$P = 20 \sqrt{W_2},$$

$$P = 6,3 \sqrt{I},$$

где P — давление в барах,

W_2 — звуковая мощность в микроваттах на кв. сантиметр,

I — сила звука в $\frac{\text{эрг}}{\text{см}^2/\text{сек}}$.

Для перевода громкости в давление и в силу звука составлен график рис. 8. 1, помещенный на стр. 294.

Кривые равной громкости — линии, соединяющие на графике точки, характеризующие собой чистые тоны равной громкости, но различной частоты. Кривые равной громкости показаны на графике рис. 8. 2.

Интерференция — взаимно нейтрализующее или усиливающее действие двух или нескольких звуковых волн, прибывающих одновременно в одно и то же место.

Дифракция — изменение направления распространения звука, вызванное прохождением волны около края препятствия.

Рефракция — изменение направления распространения звуковой волны, вызванное изменением скорости движения волны на различных участках пути.

Биения — периодические изменения силы звука, вызванные интерференцией двух звуковых волн различных частот.

Реверберация — существование звука в замкнутом пространстве благодаря повторным отражениям звука (после того как источник звука перестал действовать).

Реверберация стандартная — время (в секундах), в течение которого сила звука заданной частоты и в заданной обстановке уменьшается на 60:дб (до одной миллионной доли) по сравнению со своим первоначальным значением.

P —звуковое давление среднеквадратичных баров (дин/см²)

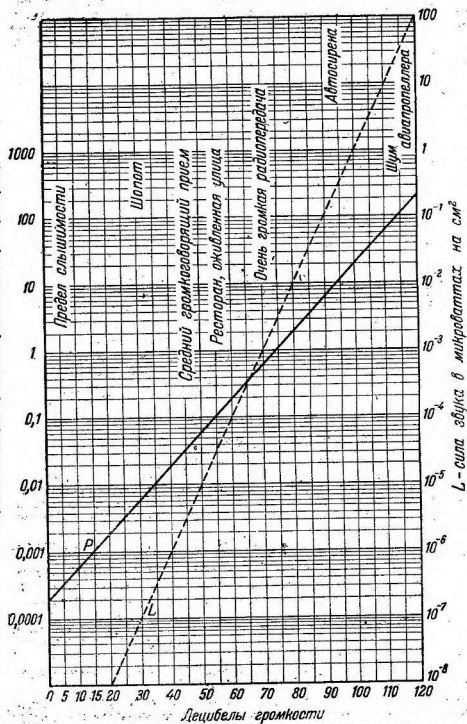


Рис. 8. 1. Громкость (сила звука)—звуковое давление для частоты 1000 гц.
Нулевой уровень громкости соответствует силе звука $1 \cdot 10^{-12}$ вт/см².

Порог (предел) слышимости — минимальное звуковое давление синусоидальной волны заданной частоты, которое только может быть отмечено ухом в полной тишине. Пределом слышимости часто называется также и минимальное звуковое давление сложной волны (музыка, речь и т. д.), которое может быть отмечено человеческим ухом при полной тишине: Для среднего (нормального) уха и при частоте звука в 1000 гц предел слышимости соответствует (примерно) давлению в 0,0002 б (или 10^{-10} вт/см²). На рис. 8.3 показано, при каких звуковых давлениях и как изменяется порог слышимости в зависимости от частоты.

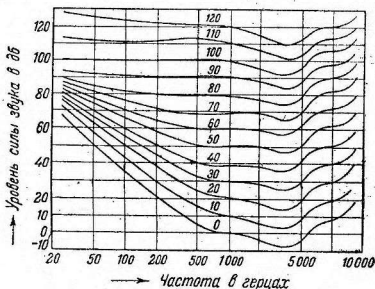


Рис. 8. 2. Кривые равных громкостей.

Нулевой уровень силы звука соответствует $1 \cdot 10^{-10}$ вт/см². Уровни громкости указаны на самых кривых.

Болевой предел — минимальное звуковое давление заданной частоты, при котором ухо перестает различать звук и начинает чувствовать боль. Для тона в 1000 гц и нормального уха это соответствует (примерно) давлению в 1000 б, или 0,0025 вт/см².

Микрофоном называется система, служащая для преобразования звуковых колебаний в электрические.

Преобразователь — устройство, берущее мощность из одной системы и отдающее ее в той же или в иной форме в другую систему. Эти системы могут быть электрическими, механическими или акустическими, смотря по природе и назначению преобразователя.

Телефоном называют электроакустическую систему, преобразующую электрические колебания в звуковые; таким образом, телефон является электроакустическим преобразователем.

Примечание. Такие же функции выполняет громкоговоритель (репродуктор).

Система передачи — совокупность технических устройств, служащая для передачи сигнала от места отправления (в радиовещании студия) к месту

назначения (в радиовещании комната радиослушателя). Тот же смысл имеет понятие «тракт» (радиовещательный, тракт низкой частоты и т. п.).

Коэффициент передачи или преобразования системы (или какого-либо звена системы: микрофона, усилителя, громкоговорителя, трансформатора) по мощности (или по амплитуде) представляет отношение мощности (или амплитуды) на выходе системы к мощности (или амплитуде) на входе системы. Если система передачи служит преобразователем энергии (громкоговоритель), то берется отношение мощности той природы, которая получена путем преобразования (звуковой), к мощ-

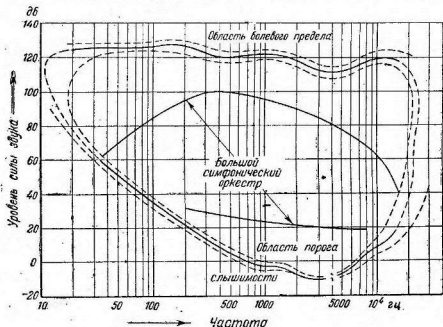


Рис. 8.3. «Рабочий» диапазон уха.

Зависимость предела слышимости и болевого предела от частоты.

ности, подлежащей преобразованию в преобразователе (электрической), или отношение амплитуды величины, полученной путем преобразования (например звуковое давление на известном расстоянии от громкоговорителя в $\frac{\text{дн}}{\text{см}^2}$), к амплитуде величины, подлежащей преобразованию в преобразователе (напряжение на зажимах громкоговорителя в вольтах).

Чувствительность системы (звена) — термин применяется к некоторым системам (как микрофон, громкоговоритель, аппарат, шумомер) как отношение величины, полученной на выходе системы (звена), например отсчета шумомера, к величине, действующей на входе системы. Для электроакустической аппаратуры (громкоговорителей, микрофонов и адаптеров) термин «чувствительность системы» равнозначен термину «коэффициент передачи» (преобразования).

Частотная характеристика коэффициента передачи (или чувствительности в отношении электроакустической аппаратуры) есть зависимость коэффи-

циента передачи (чувствительности) от частоты. Обыкновенно и коэффициент передачи, и частота графически изображаются по логарифмической шкале.

Частотно-независимая характеристика коэффициента передачи (чувствительности) — характеристика, при которой коэффициент передачи (чувствительности) представляет собой величину, от частоты не зависящую. Иногда такая характеристика носит неудачное название «прямолинейной характеристики», причем под «прямолинейностью» понимают параллельность оси абсцисс (частот) графически представленной характеристике.

Сокращенный термин частотной характеристики коэффициента передачи (чувствительности) — **частотная характеристика** (сокращение допустимо, если по смыслу фразы ясно, о какой частотной характеристике идет речь).

Динамический диапазон передачи (подразумевается «радиовещательной передачи» — музыки, речи) — диапазон уровней (мощности или амплитуды) передачи, начиная от самых низких (P_{pp}) до самых высоких (P_{ff}). Динамический диапазон зависит от рода и характера исполнения (музыки, речи). Количественная оценка динамического диапазона имеет смысл или по отношению к данному отрывку речи или музыки, или как средняя статическая для большого числа исследованных речевых исполнений и музыкальных произведений. Исчисляется в децибелах как

$$10 \lg \frac{P_{ff}}{P_{pp}},$$

где P_{ff} — максимальная мощность исполнения,
 P_{pp} — минимальная мощность,

или если мощности P_{ff} соответствует уровень громкости Γ_{ff} , а мощности P_{pp} — уровень громкости Γ_{pp} , то динамический диапазон громкости передачи определяется разностью $\Gamma_{ff} - \Gamma_{pp}$.

Коэффициент, характеризующий нелинейность системы («клирфактор» гармоник) — отношение суммарного эффективного напряжения (звукового давления) гармоник, содержащихся на выходе нелинейной системы (или какого-либо одного звена системы) к эффективному напряжению (звуковому давлению) основной частоты, подводимой к системе. Клирфактор гармоник исчисляется в процентах. При измерениях клирфактора гармоник на вход системы подается чистая синусоида основной частоты.

ОСОБЕННОСТИ СЛУХА, ПРОСТЕЙШИЕ РАСЧЕТЫ

1. **Человеческое ухо (среднее, нормальное) восприимчиво к частотам** примерно от 16 до 16 000 гц , т. е. к диапазону почти в 10 октав. Ухо является одним из самых замечательных «приборов» в мире как по диапазону частот, так и по диапазону чувствительностей, воспринимая звуки, соответствующие давлению на барабанную перепонку в $0,0002 \text{ дн/см}^2$ (при этом амплитуда колебаний барабанной перепонки не превышает десятиллионной доли миллиметра, т. е. в несколько тысяч раз короче одной световой волны). В то же время ухо способно различать звуки, соответствующие давлению в 1000 дн/см^2 и больше. По диапазону мощностей эти пределы соответствуют отношению сил звуков в 10^{13} раз. Изменение тона ухо отмечает уже при изменениях частоты в 0,3%. Кроме того, ухо обладает способностью разбивать сложное колебание на его основные гармонические составляющие и, наоборот, из отдельных частот образовывать сложные комбинационные звуки.

Некоторые данные человеческого уха:

а) слуховой проход (канал) имеет длину 2,0—2,5 см , поперечное сечение 0,3—0,5 см^2 и объем 1 см^3 ;

б) барабанная перепонка, отделяющая наружное ухо от среднего, имеет горизонтальный диаметр 1,0 см, вертикальный диаметр 0,85 см и площадь 0,65 см²;

в) три косточки среднего уха весят: молоточек 0,023 г, наковальня 0,025 г и стремя — 0,003 г;

г) основная мембрана внутреннего уха имеет длину 3,1 см и ширину, изменяющуюся от 0,016 до 0,05 см,

д) восстановительный период слухового нерва после импульса от 0,001 до 0,003 сек. (зависит от громкости звука);

е) время установления постоянной силы звука 0,2—0,25 сек;

ж) собственная частота барабанной перепонки 1200—1500 гц; затухание собственных колебаний около 1000 дб/сек;

з) акустическое сопротивление уха около 400 аком при 100 гц постепенно уменьшается до 10 аком при частоте 500 гц и далее до частоты 3000 гц колеблется от 10 до 120 аком;

и) на основании опытных данных по громкости кратковременных импульсов можно составить себе представление об электрическом контуре, являющемся электрическим эквивалентом уха: постоянные контура зависят от уровня громкости; при минимальной громкости, например, контур состоит из индуктивности порядка 0,1 гн; последовательно с емкостью порядка 33 400 мкф и около 10 000 ом сопротивления.

2. Существенной особенностью нашего слуха является то, что с изменением физической силы звука (например, при увеличении излучаемой звуковой энергии работающего громкоговорителя) субъективное ощущение громкости изменяется пропорционально не силе звука, а логарифму его изменений:

$$L = C \cdot \lg \frac{I}{I_0}$$

В этой формуле L — громкость в единицах громкости (децибелы, фоны),

I — физическая сила (энергия) звука,

I_0 — наименьшая сила звука, воспринимаемая нашим ухом, или так называемый «порог чувствительности»,

C — некоторая постоянная, зависящая как от выбранных единиц, так и от частоты.

Существование такого «логарифмического» закона слышимости и объясняет тот факт, что ухо реагирует на звуки, отличающиеся друг от друга по своей силе в сотни миллионов раз.

Минимальное изменение интенсивности звука, отмечаемое нашим ухом, получается примерно одинаковым по всему диапазону частот и громкостей и соответствует изменению звукового давления примерно на 12% или, иначе, изменению силы звука (энергия звуковых колебаний) на 25%.

Эта минимальная величина изменений, отмечаемых ухом, совпадает с изменением громкости в один децибел (1 дб).

3. Наибольшую чувствительность ухо показывает при частотах от 1000 до 2000 гц. При всех сравнениях в качестве стандартной частоты наибольшей чувствительности практически берется частота в 1000 гц. На рис. 8. 2 показано, как должна меняться сила звука для сохранения неизменной громкости.

4. Основные частоты музыкальных инструментов и человеческого голоса не выходят за пределы диапазона 40—8000 гц. Однако для передачи всех оттенков как речи, так в особенности некоторых музыкальных инструментов требуются гармонические (образующие данный звук) частоты до

14 000 *гц*. Скрип двери, писк комара, звонки и подобные звуки имеют основные частоты, выходящие за пределы 10 000 *гц*. Графическое представление об основных частотах, составляющих тот или иной голос или инструмент, дано на рис. 8. 4, где основной базой выбрана полная клавиатура рояля. Для большей ясности там же отмечена нотная система и указаны частоты.

5. Средняя звуковая мощность человеческой речи соответствует 10 *мквт*, что дает давление около 0,85 *б* на расстоянии 30 *см* от рта говорящего. Это ничтожная по величине мощность. Легко подсчитать, что если население города в 3 000 000 жителей будет непрерывно разговаривать, то их общей звуковой мощности нехватит на то, чтобы 50-ваттная электролампочка горела полным накалом.

Всегда следует помнить, что мощность звуков непрерывно и в очень широких пределах изменяется как при разговоре, так и при музыкальном исполнении. Средней мощностью звуков называют среднее значение мощности, измеренное за достаточно большой промежуток времени. Отдельные амплитуды могут достигать величины, во много раз превышающей среднее значение мощности, однако если при передаче эти амплитуды и не будут воспроизведены, качество передачи не будет заметно ухудшено. Можно считать, что для точного воспроизведения человеческой речи требуется диапазон силы звука в 60 *дб*. При этом распределение энергии будет таково, что пиковые значения мощности будут выше средней мощности на 20 *дб*, а разборчивый шепот будет ниже средней мощности примерно на 40 *дб*. Приводим табл. 8. 1 (составлена Флетчером) распределения мощностей при передаче речи. Таблица составлена по измерениям мощностей для интервалов времени по $\frac{1}{8}$ секунды.

Как видно из таблицы, наиболее часто встречаются пики мощности около 100 *мквт* (при средней мощности речи в 10 *мквт*). Наибольшей мощности требуют гласные буквы «а», «о», «у» «и» (образуемые в основном низкими частотами от 400 до 800 *гц*); наименьшая мощность требуется для передачи шипящих и свистящих букв (образуемые высокими частотами от 4000 до 6000 *гц*). Для оркестра отношение мощности при «фортиссимо» к «пианиссимо» для большого оркестра может доходить до величины 10 000 000 : 1, или 70 *дб*. Приводим в табл. 8. 2 мощности отдельных инструментов (см. стр. 301).

Даже для очень хорошей радиопередачи нет надобности передавать весь динамический диапазон. Программа будет передана вполне удовлетворительно, если максимальная и минимальная мощности при передаче будут иметь соотношение, сокращенное до 1000 : 1.

6. В составе человеческой речи имеются частоты примерно от 80 до 9000 *гц*, однако большая часть энергии падает на низкие частоты порядка

Таблица 8. 1

% количества интервалов по $\frac{1}{8}$ сек.	Число децибел пинов. мощности над средней мощностью
2	свыше 20
3	от 18 до 20
6	» 16 » 18
8	» 14 » 16
10	» 12 » 14
11	» 10 » 12
11	» 8 » 10
10	» 6 » 8
8	» 4 » 6
6	» 2 » 4
4	» 0 » 2
21	ниже средней мощности
100	

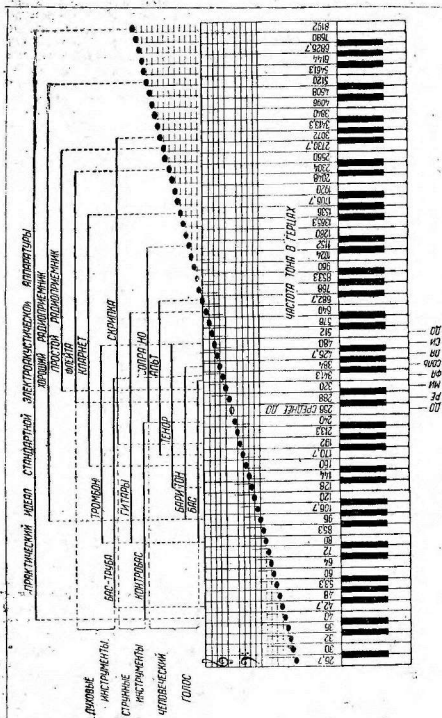


Рис. 8. 4.

нескольких сотен герц. На кривой рис. 8. 5 дано приблизительное распределение энергии по частотам обычной человеческой речи. Кривая представляет среднее распределение звуковой энергии для разговорной речи четырех мужчин и двух женщин. Громкость речи, однако, не будет соответствовать излучаемой энергии, ибо на различных частотах меняется чувствительность уха (см., например, кривые рис. 8. 2). На рис. 8. 6 представлена зависимость между громкостью и частотой, снятая при произношении речи громким голосом. Как видно из кривых рис. 8. 6, максимальная громкость для мужского голоса получается при частоте около 400 *гц* и для женского — около 800 *гц*. Для музыкальных инструментов распределение энергии будет несколько иным. На кривой рис. 8. 7 показана сила звука на различных составляющих частотах во время исполнения обычной музыкальной вещи на рояле. Максимальная громкость для рояля получается в пределах 1000—2000 *гц*.

Таблица 8. 2

Пиковая мощность музыкальных инструментов

(при игре «фортиссимо»)

Инструмент	Мощность в <i>вт</i>	Инструмент	Мощность в <i>вт</i>
Большой оркестр	70	Бас (саксафон)	0,3
Большой барабан	25	Труба	0,2
Труба органа	13	Контрабас	0,16
Малый барабан	12	Пикколо	0,08
Тарелки	10	Флейта	0,06
Тромбон	6	Кларнет	0,05
Рояль	0,4	Валторна	0,05
Труба	0,3	Треугольник	0,05

7. Отсутствие того или иного участка частот при разговорной речи немедленно сказывается на качестве, т. е. на артикуляции (разборчивости). Обычно артикуляция проверяется количеством процентов правильно принятых слогов, не имеющих смыслового значения. На сплошных кривых рис. 8. 8 показано, как изменяется разборчивость в зависимости от оставшегося диапазона частот. Сплошная кривая *L* дает получающуюся артикуляцию для того случая, когда передающее устройство не пропускает (отфильтровывает) всех частот, лежащих выше абсцисс этой кривой. Например, для некоторой точки на кривой *L* артикуляция получается равной 75% правильно принятых слогов при отсутствии частот от 2000 *гц* и выше. Если же передающее устройство, наоборот не пропускает частоты от 0 до 2000 *гц*, то артикуляция по сплошной кривой *H* получится всего лишь в 40%. Пунктирные кривые показывают остающуюся мощность при отфильтровке части частот. Пунктирная кривая показывает, какая мощность (в процентах) остается при отфильтровке всех частот выше рассматриваемой. Например, для работы на частотах от 0 до 750 *гц* (фильтрами вырезаны все частоты от 750 *гц* и выше) требуется мощность в 75% от

полной потребной для передачи всего диапазона частот; артикуляция же при этом будет всего лишь в 22%. Если же из передачи изъять частоты от 0 до 750 гц, то остающаяся мощность (пунктирная кривая *H*) будет составлять всего лишь 25% от полной мощности, а артикуляция будет превышать 90%. Равномерное деление мощностей «по диапазону» получается при частоте примерно в 400 гц (пересечение пунктирных кривых *L* и *H*). Следовательно, получить разборчивость при экономии затрагиваемой мощности можно за счет срезания низких частот и пропуска верхних.

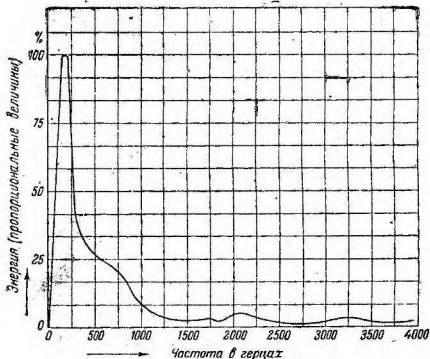


Рис. 8. 5.

При музыкальных передачах недовысказа частот сказывается значительно сильнее. На графике рис. 8. 9 показана зависимость качества воспроизведения (по субъективным оценкам музыкантов) при отфильтровке нижних или верхних частот. Кривая *A* относится к качеству воспроизведения при отсутствии нижних частот, кривая *B* — для случая отсутствия верхних частот. Например, условная оценка качества передачи в 80% от идеальной может быть получена при отсутствии всех нижних частот до 120 гц (кривая *A*). Такое же качество получается при отсутствии частот от 6000 гц и выше (кривая *B*).

8. При изменении частоты на небольшую величину нормальное ухо человека отмечает разницу в высоте тона уже при изменении частоты в 0,3%. Например, два тона в 1000 и 1005 гц уже могут быть отличимы без приборов, «на ухо». На рис. 8. 10 показано, как меняется чувствительность уха к изменениям частоты на различных участках диапазона. Наибольшая чувствительность получается для диапазона 500—5000 гц.

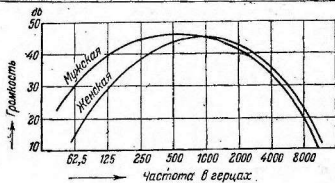


Рис. 8. 6.

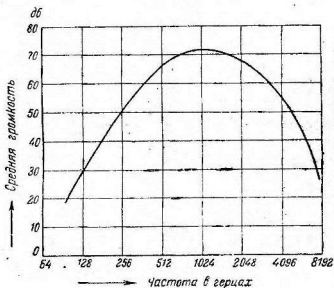


Рис. 8. 7.

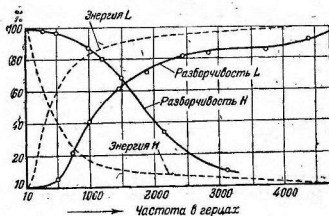


Рис. 8. 8.

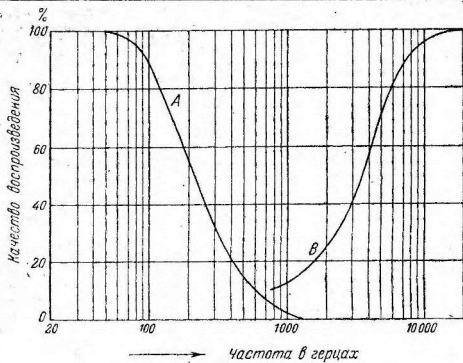


Рис. 8. 9.

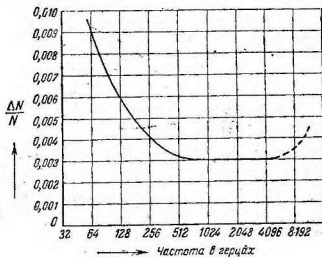


Рис. 8. 10.

9. Полоса частот, передаваемая тем или иным устройством, определяется величиной частотных искажений, допускаемых в данной полосе. Нельзя сказать, что «громкоговоритель» (приемник, микрофон и пр.) передает частоты от 100 до 4000 *гц*, не определив величины получающихся искажений, ибо практически искажения будут существовать всегда.

Под передаваемой полосой частот обычно подразумевается та полоса, в пределах которой искажения не превышают:

для трансформаторов низкой частоты	2 дб
для обычных радиоприемных усилителей	4—6 »
для высококачественных трансляционных или пред- варительных усилителей передатчиков	2 »
усилители специального назначения	0,1 »
радиоприемник в целом	10—12 »
громкоговорители	4—6 »

Иногда это условие выражается в форме $\pm$ дб от какой-то средней частоты:

10. Средняя и пиковая мощности во время передачи могут отличаться в сотни и тысячи раз. Средней мощностью называется среднее арифметическое значение за определенный, сравнительно небольшой промежуток времени (несколько секунд или несколько минут). Пиковая мощность (мгновенные максимальные значения мощности) при передаче электроакустическими средствами (электрограммофон, радио) учитывается обычно только в тех случаях, когда эти «пики» повторяются часто и когда их отсутствие начинает заметно влиять на качество передачи. Практически радиоаппаратура хорошего качества должна рассчитываться на неискаженную передачу пиковой мощности, в несколько десятков раз превышавшую среднюю нормальную мощность установки. Точные правила для расчета установок еще не выработаны, так как недостаточно хорошо изучены форма передаваемых колебаний, влияние отдельных «пиков» на вносимые искажения, зависимость от участка частот и пр. Обычно в радиовещании на «пики» добавляется 5—10 дб.

11. Длина звуковой волны измеряется расстоянием между двумя последовательными максимумами или двумя последовательными минимумами давления воздуха. При скорости распространения звука в воздухе около 340 м/сек самая длинная звуковая волна (16 *гц*) получится равной $\frac{340 \text{ м}}{16 \text{ гц}} \approx 21 \text{ м}$. Самая короткая звуковая волна: $\frac{340 \text{ м}}{16000 \text{ гц}} \approx 2,1 \text{ см}$.

12. Частотные диапазоны. Приводим в табл. 8.3 примерные пределы частот (основных и гармоник) различных звуков по данным американской лаборатории Белла (см. стр. 306).

13. Музыкальные интервалы. Главный интервал — октава — соответствует соотношению частот двух тонов 2 : 1.

Тон «до» физического «тона» имеет частоты, соответствующие частотам степеням числа 2. Средним «до» считается «до», имеющее (рис. 8.4) тон частоты 256 *гц*. От этого «до» в сторону более низких частот наше ухо в состоянии различать около 3,5 октав и в сторону высоких частот — около 6 октав. Клавиатура рояля имеет обычно около 8 октав.

Обычно диатоническая гамма имеет 7 тонов, или 12 полутонов, частоты которых находятся в определенной математической зависимости (см. табл. 8.4).

Повышение каждого тона в отношении 25 : 24 обозначается знаком «диез».

Понижение каждого тона в отношении 24 : 25 обозначается знаком «бемоль».

Мажорное трезвучие имеет частоты составляющих тонов, находящихся в соотношении 4 : 5 : 6.

Минорное трезвучие 10 : 12 : 15.

Таблица 8.3

Инструмент	Нижний предел в гц	Верхний предел в гц
Тимпаны	60	3 000
Барабан	80	4 000
Литавры	90	13 000
Цимбалы	400	12 000
Контрабас	50	8 000
Виолончель	80	12 000
Рояль	30	8 000
Скрипка	200	13 000
Бас (труба)	50	6 000
Тромбон	100	7 000
Французский рожок	100	6 000
Труба	170	8 000
Бас (саксафон)	70	12 000
Фагот	70	10 000
Бас (кларнет)	80	12 000
Кларнет	140	11 000
Саксафон (сопрано)	200	13 000
Гобой	230	13 000
Флейта	240	13 000
Пикколо	500	12 000
Мужская речь	100	8 000
Женская речь	200	10 000
Хлопанье в ладоши	100	15 000
Звон ключей	700	15 000
Орган	16	8 000

Разное

Скрип двери, писк комара	12 000—16 000
Гром	20—40
Шум Ниагарского водопада	40—50

14. *Основной тон музыкальной настройки.* Для настройки всех музыкальных инструментов основным тоном принято считать тон «ля» первой октавы (см., например, клавиатуру на рис. 8.4). Однако до последнего времени не было твердо установленного стандарта на частоту, определяющую этот тон. За последние столетия частота этого тона колебалась примерно в пре-

Таблица 8.4

Интервалы	Отношение частот	Обозначение тонов	
		Итальянское	Немецкое
Прима	1 : 1	до	C
малый полутон	25 : 24	—	—
большой полутон	16 : 15	—	—
малая секунда	10 : 9	—	—
большая секунда	9 : 8	ре	D
малая терция	6 : 5	—	—
большая терция	5 : 4	ми	E
кварта	4 : 3	фа	F
квинта	3 : 2	соль	G
малая секста	8 : 5	—	—
большая секста	5 : 3	ля	A
малая септима	9 : 5	—	—
большая септима	15 : 8	си	B
октава	2 : 1	до	C

Таблица 8.5

Тон первой октавы		Частоты в гц		
		по ОСТ 7710	международный тон	физическая шкала тонов
до	C	261,6	258,65	256
до диез (ре бемоль)		277,2	274,03	—
ре	D	293,7	290,33	288
ре диез (ми бемоль)		311,2	307,59	—
ми	E	329,7	325,88	320
фа	F	349,2	345,26	341,33
фа диез (соль бемоль)		370,0	365,79	—
соль	G	392,0	387,54	384
соль диез (ля бемоль)		415,4	410,58	—
ля	A	440	435	426,67
ля диез (си бемоль)		466,2	460,87	—
си	B	493,9	488,27	480
до	C	523,3	517,31	512

делах от 420 до 570 гц. В настоящее время введен общесоюзный стандарт, определяющий частоту основного тона «ля» в 440 гц. В некоторых странах пользуются международным основным тоном «ля», имеющим частоту 435 гц. Кроме того, существует так называемая «физическая шкала частот», в которой для тона «до» предоставлены частоты, равные целым степеням числа 2. В этой гамме «ля» первой октавы соответствует частоте 426,7 гц.

Для иллюстрации на стр. 307 приводим сравнительную таблицу частот (табл. 8.5) для первой октавы.

15. Скорости распространения звука

Таблица 8.6

Материал	Скорость звука в м/сек
Резина	54
Воздух ¹	343
Светильный газ	487
Пробка	500
Вода	1430
Сосна	3320
Кирпич	3650
Дуб	3850
Гранит	3950
Железо	4870
Сталь	5000

РАСЧЕТ СТУДИЙ

Размер, форма студии (для радиопередач), внутренняя отделка и обстановка студии чрезвычайно сильно влияют на качество художественной передачи. Полный расчет студии достаточно сложен, и мы рассмотрим простейшие решения следующих проблем:

- 1) выбор объема студии,
- 2) оптимальная форма помещения,
- 3) простейший подсчет реверберации.

Объем студии зависит в основном от числа исполнителей (или, иначе говоря, числа инструментов). Однако не только количество, но и род составляющих ансамбль инструментов влияют на оптимальные размеры студии. Например, при одинаковом количестве инструментов наибольшей кубатуры требует духовой оркестр, средней кубатуры — симфонический, и наименьшей — струнный.

¹ Для разной температуры воздуха скорость звука может быть подсчитана по формуле:

$$v = 332 + 0,6 \cdot t,$$

где v — скорость распространения звука в метрах в секунду,

t — температура воздуха в °Ц.

Для расчета удобнее всего пользоваться так называемой «приведенной оркестровой единицей», за которую принимается флейта, требующая наименьшего объема помещения. Остальные инструменты можно охарактеризовать числами, показывающими, какому числу флейт они эквивалентны в отношении потребной кубатуры. Приводим эту таблицу перевода (табл. 8. 7).

Таблица 8. 7

Инструмент	Число приведенных оркестровых единиц
Флейта	1
Щипковые (народные)	1
Скрипка, альт, щипковые басы	2
Кларнет, гобой, фагот	3
Хоровой голос, виолончель, волторна	4
Труба, флейта-пикколо, корнет-а-пистон	5
Альт (труба), тенор (труба), контрабас	6
Тромбон, литавры, арфа, баритон (труба)	7
Ударные, бас (труба)	8
Рояль, малый орган	12

По этой таблице подсчитывается суммарное количество «приведенных» оркестровых единиц и по графику рис. 8. 11 определяется необходимый объем студии. Эти графики могут быть заменены следующими формулами:

$V = 22 (m + 2)$ — американская норма;

$V = 33 (m - 5)$ — норма московского радиоузла для ансамбля с числом единиц больше 10.

Здесь V — объем в кубометрах,

m — число оркестровых единиц (приведенных).

Форма студийного помещения также влияет на качество передачи, но вполне точного закона для различных ансамблей указать нельзя. В США чаще всего придерживаются соотношения между длиной, шириной и высотой студии 5 : 3 : 2 соответственно, т. е. длина должна быть $l = \frac{5h}{2}$ и ши-

рина $b = \frac{3h}{2}$, где h — высота студии, определяемая американцами в зависимости от числа исполнителей по формуле:

$$h = 2 \sqrt[3]{m + 2,5},$$

где h — высота в метрах,

m — число исполнителей.

График рис. 8. 12 дает для любого числа исполнителей (до 70) сразу готовые величины длины, ширины и высоты студий. Пунктиром даны американские нормы, сплошными линиями — нормы московского радиоузла

($h - h$ и $h' - h'$ — высота, $b - b$ и $b' - b'$ — ширина, $l - l$ и $l' - l'$ — длина).

Расчет реверберации. Для различной величины помещений и различных видов передач существуют оптимальные величины реверберации, отклонение от которых приводит к искажениям передачи. Изменять время стандартной реверберации для готовой студии можно заглушением студии мягкими звукопоглощающими материалами (драпировка), облицовкой стен специальными акустическими материалами (войлок, фонотекс) и заполнением помещения (мебель, ширмы и т. д.).

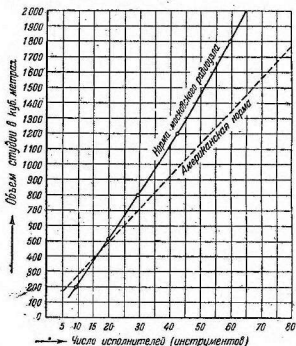


Рис. 8. 11. Расчет предельного числа исполнителей в зависимости от объема студии.

Практическое значение реверберации состоит в том, что всякий импульс звука, как, например, произнесенный слог, представляющий собой серию колебаний, воздействует на ухо или на микрофон не только непосредственно, но и после целого ряда отражений от ограничивающих помещение поверхностей. Правильно подобранная реверберация дает впечатление полноты и звучности. Малая реверберация (при сильном заглушении) делает звук безжизненным, как бы уходящим в пустоту, требуя одновременно повышенной мощности источника звука. Наоборот,

слишком большая реверберация вносит в передачу неприятную гулкость, переходящую иногда в эхо, делает передачу неразборчивой. Поэтому принято говорить о так называемой «оптимальной реверберации» для помещения данного объема и определенного назначения.

Ориентировочный выбор оптимальной реверберации для радиостудий можно производить по графику рис. 8. 13. Нормы радиовещательных студий указывают, что радиостудии должны допускать возможность регулировки (заглушением) времени стандартной реверберации:

- | | |
|---|--------------------|
| а) для студий до 240 м ³ | от 0,4 до 0,8 сек. |
| б) » » 750 » | » 0,6 » 1,2 » |
| в) » очень больших студий | » 0,8 » 1,6 » |

При решении сложных радиоакустических вопросов приведенный график не дает решения, ибо во внимание должны быть приняты и мощность и даже характер исполняемого произведения. На кривых рис. 8. 14 приведена оптимальная реверберация (по Кнудсену) для различного объема

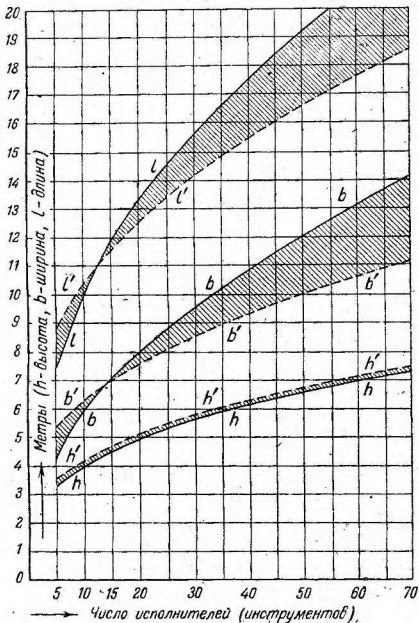


Рис. 8. 12. Расчет геометрических размеров студии в зависимости от числа исполнителей (инструментов). Сплошные линии — нормы Московского радиоузла, пунктирные линии — американские нормы.

и разных типов выступлений. Как видно из нижней кривой, речь требует минимальной реверберации (для получения максимально возможной артикуляции). Кроме перечисленного, реверберация зависит также от частоты, уменьшаясь обычно при частоте в несколько тысяч герц. Величина реверберации измеряется специальным лабораторным устройством — реверберометром, но может быть рассчитана и по формулам.

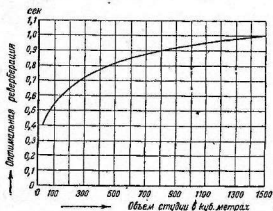


Рис. 8. 13. Расчет оптимальной реверберации.

Для подсчета имеющейся в заданном (проектируемом) помещении реверберации пользуются в зависимости от желаемой степени точности одной из следующих формул:

$$T_{60} = \frac{0,16 V}{A} \text{ (формула Сабина);}$$

$$T_{60} = \frac{0,16 V}{-S \ln (1 - \alpha)} \text{ (формула Эйринга);}$$

$$T_{60} = \frac{0,16 V}{-S \ln (1 - \alpha) + k \cdot V} \text{ (обобщенная).}$$

В этих трех формулах T_{60} — время стандартной (ослабление на 60 дБ) реверберации в секундах,
 V — объем помещения в кубометрах,
 S — полная поверхность помещения в кв. метрах,
 $\ln$ — натуральный логарифм,
 A — число единиц поглощения данного помещения, равное произведению всей площади S на средний коэффициент поглощения α :

$$A = S \cdot \alpha.$$

При однородной поверхности α можно было бы взять прямо из табл. 8. 8. Обычно же коэффициент A является суммой отдельных элементов поглощения: $A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots$, где S_1, S_2 — отдельные участки площади, имеющие соответственно коэффициенты поглощения α_1, α_2 . Общая площадь

помещения должна равняться сумме отдельных $S = S_1 + S_2 + \dots$, а — средний коэффициент поглощения, вычисляемый по формуле:

$$\alpha = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots}{S_1 + S_2 + \dots},$$

где S_1 , S_2 и пр. — отдельные участки поверхности студии в кв. метрах, имеющие соответственные коэффициенты поглощения α_1 , α_2 и пр. (табл. 8. 8),

k — коэффициент, учитывающий поглощение, вызванное потерями в воздухе; зависит от влажности и увеличивается с частотой.

Величина коэффициента k берется из табл. 8. 9 (для температуры 20°C).

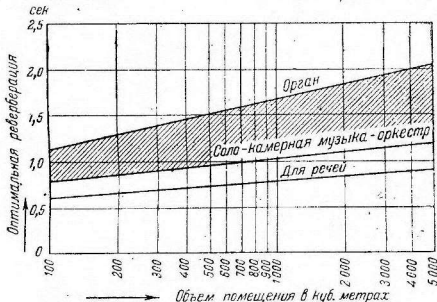


Рис. 8. 14. Выбор оптимальной реверберации в зависимости от объема помещения и характера передачи.

РАСЧЕТ ЗВУКОФИКАЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

Ответ на этот весьма важный с точки зрения практической радиотехники вопрос получить довольно трудно. Необходимая для озвучения какого-либо помещения мощность зависит от очень многих причин: объема, формы и среднего коэффициента поглощения для заданного помещения, передаваемого диапазона частот, коэффициента полезного действия громкоговорителей, желаемой громкости, допустимых искажений, количества пик-передачи, подлежащих воспроизведению, необходимого уровня громкости и пр.

Средняя мощность радиопередачи обычно в 10 раз (или даже больше) меньше пиковой мощности, на которую в практических условиях (среднекачественное воспроизведение звука) должен быть рассчитан выходной каскад усилителя. Усилители для высокохудожественной передачи должны

Коэффициенты звукопоглощения

Таблица 8.8

Объекты поглощения	Коэффициент поглощения на 1 м ² поверхности
Открытое окно	1,000
Вентиляторы и отверстия для топки	0,500
Кирпичная стена	0,032
Кирпичная стена выкрашенная	0,017
Стекло одинарной толщины	0,027
Линолеум на твердой подстилке	0,030
Бетон	0,015
Мрамор	0,010
Штукатурка по деревянной решетке	0,034
Деревянная обшивка	0,061
Волосяной войлок в 1" неокрашенный	0,550
Акустолит (искусственный камень)	0,360
Ковры нехолщевые	0,200
Ковры грубые	0,200
Ковры тяжелые с отделкой	0,250
Ковры восточные особенно тяжелые	0,290
Шторы	0,230
Шторы с тяжелыми складками	0,5—1,0
Кретоновая материя	0,150
Батист	0,019
Пробка 2,5 см толщины на земле	0,160
Занавес	0,230
Человек; находящийся отдельно от других	0,480
Слушатели (многочисленная аудитория)	0,960
Стул из ясеня	0,017
Кресло, набитое волосом, с кожаной обивкой	0,280
Рояль	0,600

Таблица 8.9

Относительная влажность в %	Коэффициент k при частоте			
	2000 гц	3000 гц	4000 гц	6000 гц
20	0,00086	0,0016	0,0036	0,0064
30	0,00072	0,0015	0,0031	0,0056
40	0,00060	0,0014	0,0028	0,0048
50	0,00052	0,0013	0,0024	0,0042
60	0,00046	0,0012	0,0022	0,0036
70	0,00045	0,0011	0,0018	0,0031

иметь значительно больший запас мощности для возможности передачи часто встречающихся пик с малыми искажениями.

Коэффициент полезного действия малоомощных диффузорных динамиков порядка 1%. Таким образом электрическая (звуковая) мощность, отдаваемая усилителем, должна быть в 100 раз больше расчетной акустической мощности, необходимой для озвучения заданного помещения. При громкоговорителях, имеющих другой к.п.д., соотношение между акустической и электрической мощностями получается следующее:

$$P_{эл} = \frac{P_{акуст} \cdot 100}{\eta},$$

где η — к.п.д. в процентах.

На графике рис. 8. 15 приведено несколько расчетных кривых, дающих величины электрических мощностей, требующихся для озвучения закрытых помещений различной кубатуры.

Наиболее практическими надо считать кривые II и III. Обе кривые II и III рассчитаны на нормальную (60—65 дб в среднем) громкость, с которой обычно слушают радиопередачу или передачу звукового кино. Кривая I позволяет (при соответствующей аппаратуре) дать повышенную художественность передачи.

Кривая IV относится к средней мощности передачи (без учета пик) при громкости 80 дб на частоте 1000 гц. Для озвучения помещения, рассчитанного на обычную радиопередачу, мощности, даваемые этой кривой, будут явно недостаточны.

Следует не забывать, что кажущееся большое расхождение между кривыми мощностей при переводе на громкости даст сравнительно малые изменения. Например, кривые II и III дают расчетные мощности, по величине отличающиеся вдвое (на 100% относительно меньшей), что дает, однако, разницу в силе сигналов всего лишь в 3 дб (малозаметную для уха). Для облегчения расчетов укажем, что кривые соответствуют примерно следующим формулам:

$$I - P_{эл} = 0,13 V^{0,79};$$

$$II - P_{эл} = 0,05 V^{0,8};$$

$$III - P_{эл} = 0,014 V^{0,86};$$

$$IV - P_{эл} = 0,0022 V^{0,83}.$$

Во всех этих формулах $P_{эл}$ — электрическая мощность в ваттах (в предположении, что к.п.д. динамика равен 1%),

V — объем помещения в кубометрах.

Надо отметить, что простейшая радиопередача требует от усилительной установки передачи (неискаженной) громкостей с разницей в 40 дб, т. е. с диапазоном мощностей 10 000 : 1. Для передач повышенного качества диапазон мощностей требуется уже в 50—60 дб.

РАСЧЕТ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ДОСКИ ДИНАМИКА

При передаче низких частот динамиком колебания воздуха с задней стороны диффузора огибают диффузор и, доходя вместе с прямой волной (приходящей от передней поверхности диффузора), интерферируют с ней, внося ослабление и искажения. Отражательная доска имеет целью разделить эти волны. Влияние доски зависит от ее размеров. На рис. 8. 16 приведены кривые, дающие зависимость между размерами доски и отдачей на тех или иных частотах (конечно, если эти частоты излучаются диффузором). Практически вполне удовлетворительные результаты получаются

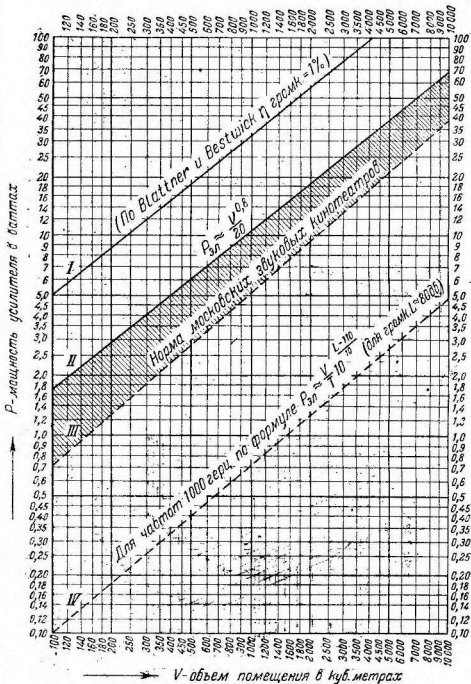


Рис. 8. 15. Расчет электрической мощности для озвучения закрытого помещения.

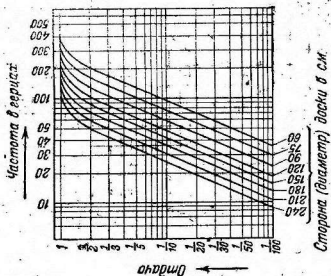


Рис. 8. 16. Относительное заглушение низших частот в зависимости от размеров отражательной доски динамика.

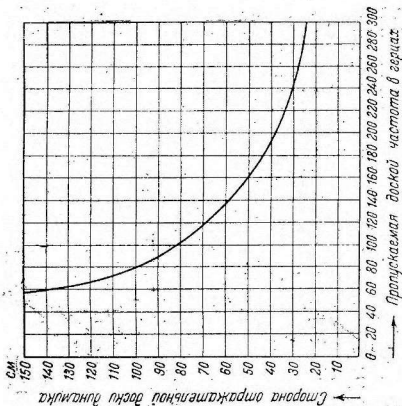


Рис. 8. 17. График для выбора размера отражательной доски динамика.

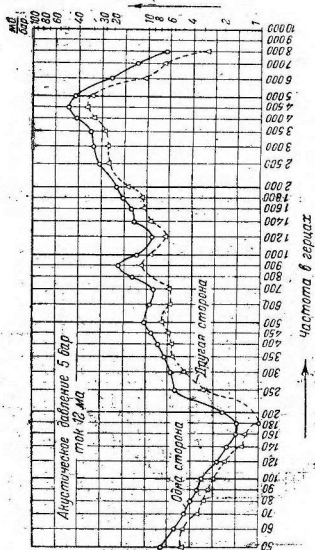


Рис. 8. 18. Частотная характеристика микрофона типа ММ-2.

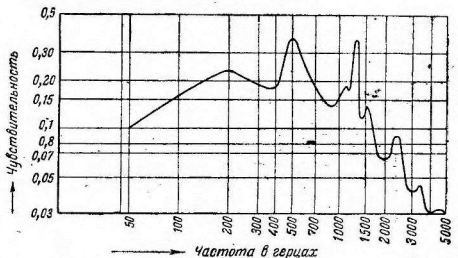


Рис. 8. 19. Частотная характеристика громкоговорителя «Рекорд 1».

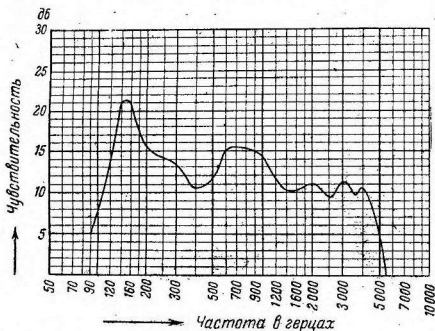


Рис. 8. 20. Частотная характеристика одного из образцов динамика электрокомбината (с постоянным магнитом).

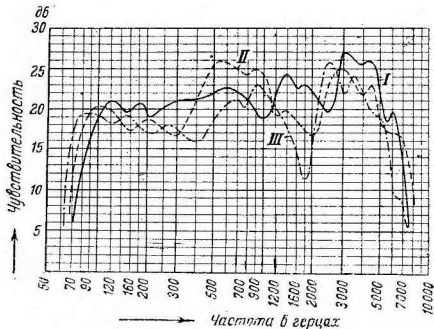


Рис. 8. 21. Частотные характеристики лабораторных образцов динамиков:

I—завода им. Ленина, II—Киевского радиозавода, III—завода № 7 НКС (Тульского)

Таблица 8. 10

Общие данные микрофонов

Тип	Внутреннее сопротивление пост. току в Ом	Ток питания в мА	Напряжение батарей в в	Макс. электро-движущая сила в мВ	Мембрана	
					диаметр в мм	толщина в мм
ММ-1/2	500—3000	1	1—3	—	—	—
ММ-1	500—1500	10	5—15	5—10	—	—
ММ-3	400—1500	10	4—15	5—10	—	—
Рейс (большой)	500	10—20	6—12	3—8	—	—
Рейс (малый)	500	10—20	6—12	3—8	—	—
МБ	40—70	50	2,8	200—500	48	0,5
ЦБ	100—300	20	5	200—500	48	0,5
МБ (диспетчер-ский)	20—80	100—200	6	—	—	—

Электрические данные динамиков

Завод	Тип	Звуковая катушка					Подмагничивание					
		Мощн. В вт.	напряж. В в	сопротивле- ние В ом	диаметр провода (мм)	число витков	Мощн. В вт.	напряж. В в	ток В ам.	сопротив- ление В ом	диаметр провода В мм	диаметр катушки В мм
Им. Казанского Им. Казанского Им. Орджоникидзе Им. Орджоникидзе Киевский Киевский Киевский Киевский Тульский	ЭКЛ-34	1,0	3,1	10	0,15	112	4	90	45	2000	0,15	—
	ЦРЛ-10	1,0	1,4	2	0,25	62	5,8	80	73	1000	0,18	160
	СИ-235	1,5	1,5	1,5	0,25	49	5	225	22	10 000	0,1	170
	ДШ	1,5	3,9	10	0,18	134	10,2	320	32	10 000	0,12	—
	ДГ-9	1,5	3,9	9—11	0,15	120	9,8	140	70	2000±200	0,2	180
	ДГ-8	1,5	3,9	9—11	0,15	120	3,6	6	600	10	0,8	—
	ДГК-2	1,5	1,5	1,5	0,25	49	5	225	22	10 000	0,1	—
	—	1,5	5,5	2 000	0,05	1 850	4,8	220	22	10 000	0,15	—
	Комнатный	1,0	5,5	30	0,14	240	5,7	220	26	8500	0,13	180
	Тульский	Зальный	1,5	6,7	30	0,14	240	9,7	110	88	1250 5000	0,17
Тульский Тульский Им. Ленина Им. Ленина ЛЭМЗО ЛЭМЗО	Акустик (А-1)	3,0	3,5	4,1	0,2	61	9,7	220	44	7000	—	220
	Малый	1,0	3,1	10	0,15	147	4,8	220	22	10 000	0,1	160
	Большой	3,0	4,7	7,5	0,2	100	12,7	220	58	3800±400	0,18	160
	Д-6	0,9	3,0	10	0,15	126	4	200	20	10 000±1000	0,1	195
	Д-9	0,9	3,0	10	0,15	126	3,5	250	14	18 000±1000	0,08	—
	—	1,0	1,1	12	0,15	160	8,8	200	44	4500±500	0,15	180
Радист Электромобилат.	С постоян- ными магнитами	1,0	1,4	2	0,2	49	—	—	—	—	—	160

уже при отражательной доске, диаметр (или сторона при квадратной форме доски) которой равен $\frac{1}{4}$ звуковой волны, подлежащей пропуску. Например для пропуска частоты 50 гц потребовалась бы доска со стороной, равной

$$\frac{\lambda_{50}}{4} = \frac{340}{4 \cdot 50} = 1,7 \text{ м.}$$

Если вместо доски для той же цели используется закрытый ящик (специально динамика или самого приемника), то отражательным размером (эквивалентным стороне доски) надо считать $\frac{3}{4}$ полного периметра ящика (периметр включает две ширины и две длины ящика).

На кривой рис. 8. 17 приведены практические размеры доски, необходимые для восстановления той или иной минимальной частоты передачи. Следует помнить, что если приемник, усилитель или громкоговоритель вообще не пропускает низких частот, то отражательная доска делу не поможет.

Основные требования к отражательной доске: отсутствие собственных резонансов, достаточная плотность материала и толщина доски (15—20 мм), мягкое крепление с динамиком (прокладки у кольца диффузора), жесткое крепление доски с другими частями приемника или усилителя.

Таблица 8. 12

Качественные показатели динамиков

Завод	Тип	Мощность в вт	Тип мембраны	Мощность возбуждения в вт	Полоса частот в гц	Частотн. иск. в дб	Ср. напр. поля в ватт	Зв. давл. на расст. 1 м при мощн. 1 вт в б
№ 7 НКС в Туле	Комнат.	1	Клееная на коже	7	70—5500	8	5500	4,5
№ 7 НКС в Туле	Зальный	3	Клееная на коже	20	80—5500	7	10 000	8
№ 7 НКС в Туле	Акустик	3—5	Клеен. гоф-рир. на коже	12	80—6000	6	9000	7
Киевский	ДГ-9	1—2	Клееная на коже	7	90—5500	6	—	4,5
Киевский	—	3	Клееная на коже	12	80—6000	6	—	6,5
Им. Ленина в Горьком	—	1—2	Клееная на коже	10	80—6500	6	—	6
Электрокомбинат	—	1	Бесшовная конич.	Пост. магнит. 15	100—4500	8,5	3800	3,2
«Кинап»	—	5	Клееная на бум. гофр.		80—5500	6	10 000	9

ДЕЦИБЕЛЫ. РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРОМКОСТИ

РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ И ОСЛАБЛЕНИЯ

Во всех тех случаях, когда речь идет о сравнении двух или нескольких усилителей в отношении даваемого ими усиления громкости звуков, частотных характеристик, определения мешающего действия на принимаемые сигналы соседних радиостанций или атмосферных разрядов и т. п., главным и решающим фактором является наше ухо.

Ухо, в соответствии с законом Вебера — Фехнера, реагирует на изменение силы звука по закону логарифма. Например, при увеличении амплитуды звукового колебания в 100 раз увеличение звукового эффекта в нашем ухе будет характеризоваться не числом 100, а только его логарифмом.

Усиление сложной аппаратуры определяется как сумма логарифмов усилений, даваемых отдельными каскадами.

В настоящее время основной твердо установившейся (практически международной) единицей усиления или ослабления является *децибел*.

Число децибел определяется соотношением:

$$N_{\text{дб}} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1},$$

где $N_{\text{дб}}$ — число децибел, на которое различаются сравниваемые между собой мощности, $\lg \frac{P_2}{P_1}$ — десятичный логарифм отношения сравниваемых мощностей.

Если же усиление характеризуется отношением напряжений, давлений (звуковых) или токов, то, принимая во внимание, что

$$P_2 = I_2^2 R_2 = \frac{U_2^2}{R_2},$$

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{U_1^2}{R_1},$$

получим, что

$$N_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{I_2 \sqrt{R_2}}{I_1 \sqrt{R_1}},$$

или

$$N_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{U_2 \sqrt{R_1}}{U_1 \sqrt{R_2}}.$$

В случае, когда сопротивления равны ($R_1 = R_2$), имеем:

$$N_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{I_2}{I_1},$$

или

$$N_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

или

$$N_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{p_2}{p_1}$$

I — токи, U — напряжения, p — звуковые давления при неизменных сопротивлениях).

Децибелы в англо-американской литературе часто обозначаются буквами «ТУ» (Transmission Unit) — единица передачи.

Заметим, что усиление или ослабление на 1 дб примерно соответствует усилению или ослаблению силы звука в такой мере, которая только-только обнаруживается человеческим ухом.

Усиление звука вдвое при оценке на-слух соответствует, как показывают многочисленные проверки, усилению примерно 6—8 дб.

На стр. 325—328 помещена табл. 9.1 и 9.2 для перевода соответствующих изменений мощности и напряжений в децибелы.

Для того случая, когда усиление по мощности превышает 20 дб, десятки децибел берутся из дополнительной табл. 9.2, а единицы — из основной таблицы. При сложении децибел оба соотношения (мощностей, давлений, токов, напряжений) перемножаются.

При сравнении токов, напряжений и давлений из дополнительной таблицы удобнее брать величины, кратные 20 дб. В этом случае один из множителей будет равен единице с нулями.

Пример. Два звука определены соотношением звуковых давлений в 4900. По дополнительной таблице определяем, что данное соотношение напряжений, токов) больше 10^3 , что соответствовало бы 60 дб. По основной таблице в графе отношений напряжений отыскиваем начальные цифры 4900 (не обращая внимания на запятые). Подходящей является цифра 4,898, которая соответствует 13,8 дб. Полному отношению давлений в 4900 соответствует сумма $60 + 13,8 = 73,8$ дб. Если бы 4900 обозначало соотношение мощностей (энергий), то число децибел было бы равно 36,9 дб (вдвое меньше).

Кроме децибел применяются еще и другие единицы передачи, характеризующие относительное увеличение или уменьшение рассматриваемых электрической или акустической мощности (или напряжений, токов, давлений). Применяются единицы:

непер — натуральный логарифм отношения величин;

миля — затухание мощности (тока), получающееся на каждую мил (1,61 км) стандартного телефонного кабеля, т. е. телефонного кабеля, имеющего равномерно распределенное сопротивление в 88 ом на милю двухпроводной цепи и равномерно распределенную емкость в 0,054 мкф на милю (в Англии еще добавлялась индуктивность кабеля в 0,001 гн на милю, что вносит изменение в затухание кабеля примерно на 3%);

бел — десятичный логарифм отношения мощностей; децибел равняется $\frac{1}{10}$ бел.

Для быстрого перечисления одних единиц передачи в другие приводим табл. 9.3.

Таблица 9.1

Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	δ +	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	δ +	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей
1,0000	1,0000	0	1,000	1,000	0,6683	0,4467	3,5	1,496	2,239
0,9886	0,9772	0,1	1,012	1,023	0,6607	0,4365	3,6	1,514	2,291
0,9772	0,9550	0,2	1,023	1,047	0,6531	0,4266	3,7	1,531	2,344
0,9661	0,9333	0,3	1,035	1,072	0,6457	0,4169	3,8	1,549	2,399
0,9550	0,9120	0,4	1,047	1,096	0,6383	0,4074	3,9	1,567	2,455
0,9441	0,8913	0,5	1,059	1,122	0,6310	0,3981	4,0	1,585	2,512
0,9333	0,8710	0,6	1,072	1,148	0,6237	0,3890	4,1	1,603	2,570
0,9226	0,8511	0,7	1,084	1,175	0,6166	0,3802	4,2	1,622	2,630
0,9120	0,8318	0,8	1,096	1,202	0,6095	0,3715	4,3	1,641	2,692
0,9016	0,8128	0,9	1,109	1,230	0,6026	0,3631	4,4	1,660	2,754
0,8913	0,7943	1,0	1,122	1,259	0,5957	0,3548	4,5	1,679	2,818
0,8810	0,7762	1,1	1,135	1,288	0,5888	0,3467	4,6	1,698	2,884
0,8710	0,7586	1,2	1,148	1,318	0,5821	0,3388	4,7	1,718	2,951
0,8610	0,7413	1,3	1,161	1,349	0,5754	0,3311	4,8	1,738	3,020
0,8511	0,7244	1,4	1,175	1,380	0,5689	0,3336	4,9	1,758	3,090
0,8414	0,7079	1,5	1,189	1,413	0,5623	0,3162	5,0	1,778	3,162
0,8318	0,6918	1,6	1,202	1,445	0,5559	0,3090	5,1	1,799	3,236
0,8222	0,6761	1,7	1,216	1,479	0,5495	0,3020	5,2	1,820	3,311
0,8128	0,6607	1,8	1,230	1,514	0,5433	0,2951	5,3	1,841	3,388
0,8035	0,6457	1,9	1,245	1,549	0,5370	0,2884	5,4	1,862	3,467
0,7943	0,6310	2,0	1,259	1,585	0,5309	0,2818	5,5	1,884	3,548
0,7852	0,6166	2,1	1,274	1,622	0,5248	0,2754	5,6	1,905	3,631
0,7762	0,6026	2,2	1,288	1,660	0,5188	0,2692	5,7	1,928	3,715
0,7674	0,5888	2,3	1,303	1,698	0,5129	0,2630	5,8	1,950	3,802
0,7586	0,5754	2,4	1,318	1,738	0,5070	0,2570	5,9	1,972	3,890
0,7499	0,5623	2,5	1,334	1,778	0,5012	0,2512	6,0	1,995	3,981
0,7413	0,5495	2,6	1,349	1,820	0,4955	0,2455	6,1	2,018	4,074
0,7328	0,5370	2,7	1,365	1,862	0,4898	0,2399	6,2	2,042	4,169
0,7244	0,5248	2,8	1,380	1,905	0,4842	0,2444	6,3	2,065	4,266
0,7161	0,5129	2,9	1,396	1,950	0,4786	0,2291	6,4	2,089	4,365
0,7079	0,5012	3,0	1,413	1,995	0,4732	0,2239	6,5	2,113	4,467
0,6998	0,4898	3,1	1,429	2,042	0,4677	0,2188	6,6	2,138	4,571
0,6918	0,4786	3,2	1,445	2,089	0,4624	0,2138	6,7	2,163	4,677
0,6839	0,4677	3,3	1,462	2,138	0,4571	0,2089	6,8	2,188	3,786
0,6761	0,4571	3,4	1,479	2,188	0,4519	0,2042	6,9	2,213	4,898

Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	$\frac{\partial \delta}{\partial}$	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	$\frac{\partial \delta}{\partial}$	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей
0,4467	0,1995	7,0	2,239	5,012	0,2985	0,08913	10,5	3,350	11,22
0,4416	0,1950	7,1	2,265	5,129	0,2951	0,08710	10,6	3,388	11,48
0,4365	0,1905	7,2	2,291	5,248	0,2917	0,08511	10,7	3,428	11,75
0,4315	0,1862	7,3	2,317	5,370	0,2884	0,08318	10,8	3,467	12,02
0,4266	0,1820	7,4	2,344	5,495	0,2851	0,08128	10,9	3,508	12,30
0,4217	0,1778	7,5	2,371	5,623	0,2818	0,07943	11,0	3,548	12,59
0,4169	0,1738	7,6	2,399	5,754	0,2786	0,07762	11,1	3,589	12,88
0,4121	0,1698	7,7	2,427	5,888	0,2754	0,07586	11,2	3,631	13,18
0,4074	0,1660	7,8	2,455	6,026	0,2723	0,07413	11,3	3,673	13,49
0,4027	0,1622	7,9	2,483	6,166	0,2692	0,07244	11,4	3,715	13,80
0,3981	0,1585	8,0	2,512	6,310	0,2661	0,07079	11,5	3,758	14,13
0,3936	0,1549	8,1	2,541	6,457	0,2630	0,06918	11,6	3,802	14,45
0,3890	0,1514	8,2	2,570	6,607	0,2600	0,06761	11,7	3,846	14,79
0,3846	0,1479	8,3	2,600	6,761	0,2570	0,06607	11,8	3,890	15,14
0,3802	0,1445	8,4	2,630	6,918	0,2541	0,06457	11,9	3,936	15,49
0,3758	0,1413	8,5	2,661	7,079	0,2512	0,06310	12,0	3,981	15,85
0,3715	0,1380	8,6	2,692	7,244	0,2483	0,06166	12,1	4,027	16,22
0,3673	0,1349	8,7	2,723	7,413	0,2455	0,06026	12,2	4,074	16,60
0,3631	0,1318	8,8	2,754	7,586	0,2427	0,05888	12,3	4,121	16,98
0,3589	0,1288	8,9	2,786	7,762	0,2399	0,05754	12,4	4,169	17,38
0,3548	0,1259	9,0	2,818	7,943	0,2371	0,05623	12,5	4,217	17,78
0,3508	0,1230	9,1	2,851	8,128	0,2344	0,05495	12,6	4,266	18,20
0,3467	0,1202	9,2	2,884	8,318	0,2317	0,05370	12,7	4,315	18,62
0,3428	0,1175	9,3	2,917	8,511	0,2291	0,05248	12,8	4,365	19,05
0,3388	0,1148	9,4	2,951	8,710	0,2265	0,05129	12,9	4,416	19,50
0,3350	0,1122	9,5	2,985	8,913	0,2239	0,05012	13,0	4,467	19,95
0,3311	0,1096	9,6	3,020	9,120	0,2213	0,04898	13,1	4,519	20,42
0,3273	0,1072	9,7	3,055	9,333	0,2188	0,04786	13,2	4,571	20,89
0,3236	0,1047	9,8	3,090	9,550	0,2163	0,04677	13,3	4,624	21,38
0,3199	0,1023	9,9	3,126	9,772	0,2138	0,04571	13,4	4,677	21,88
0,3162	0,10000	10,0	3,162	10,000	0,2113	0,04467	13,5	4,732	22,39
0,3126	0,09772	10,1	3,199	10,23	0,2089	0,04365	13,6	4,786	22,91
0,3090	0,09550	10,2	3,236	10,47	0,2065	0,04266	13,7	4,842	23,44
0,3055	0,09333	10,3	3,273	10,72	0,2042	0,04169	13,8	4,898	23,99
0,3020	0,09120	10,4	3,311	10,66	0,2018	0,04074	13,9	4,955	24,55

Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	δ +	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	δ +	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей
0,1995	0,03981	14,0	5,012	25,12	0,1413	0,01995	17,0	7,079	50,13
0,1972	0,03890	14,1	5,070	25,70	0,1396	0,01950	17,1	7,161	51,29
0,1950	0,03802	14,2	5,129	26,30	0,1380	0,01905	17,2	7,244	52,48
0,1928	0,03715	14,3	5,188	26,92	0,1365	0,01862	17,3	7,328	53,70
0,1905	0,03631	14,4	5,248	27,54	0,1349	0,01820	17,4	7,413	54,95
0,1884	0,03548	14,5	5,309	28,18	0,1334	0,01778	17,5	7,499	56,23
0,1862	0,03567	14,6	5,370	28,84	0,1318	0,01738	17,6	7,586	57,54
0,1841	0,03488	14,7	5,433	29,51	0,1303	0,01698	17,7	7,674	58,88
0,1820	0,03311	14,8	5,495	30,20	0,1288	0,01660	17,8	7,762	60,26
0,1799	0,03236	14,9	5,559	30,90	0,1274	0,01622	17,9	7,852	61,66
0,1778	0,03162	15,0	5,623	31,62	0,1259	0,01585	18,0	7,943	63,10
0,1758	0,03090	15,1	5,689	32,36	0,1245	0,01549	18,1	8,035	64,57
0,1738	0,03020	15,2	5,754	33,11	0,1230	0,01514	18,2	8,128	66,07
0,1718	0,02951	15,3	5,821	33,88	0,1216	0,01479	18,3	8,222	67,61
0,1698	0,02884	15,4	5,888	34,67	0,1202	0,01445	18,4	8,318	69,18
0,1679	0,02818	15,5	5,957	35,48	0,1189	0,01413	18,5	8,414	70,79
0,1660	0,02754	15,6	6,026	36,31	0,1175	0,01380	18,6	8,511	72,44
0,1641	0,02692	15,7	6,095	37,15	0,1161	0,01349	18,7	8,610	74,13
0,1622	0,02630	15,8	6,166	38,02	0,1148	0,01318	18,8	8,710	75,86
0,1603	0,02570	15,9	6,237	38,90	0,1135	0,01288	18,9	8,811	77,62
0,1585	0,02512	16,0	6,310	39,81	0,1122	0,01259	19,0	8,913	79,43
0,1567	0,02455	16,1	6,383	40,74	0,1109	0,01230	19,1	9,016	81,28
0,1549	0,02399	16,2	6,457	41,69	0,1096	0,01202	19,2	9,120	83,18
0,1531	0,02344	16,3	6,531	42,66	0,1084	0,01175	19,3	9,226	85,11
0,1514	0,02291	16,4	6,607	43,65	0,1072	0,01148	19,4	9,333	87,10
0,1496	0,02239	16,5	6,683	44,67	0,1059	0,01122	19,5	9,441	89,13
0,1479	0,02188	16,6	6,761	45,71	0,1047	0,01096	19,6	9,550	91,20
0,1462	0,02138	16,7	6,839	46,77	0,1035	0,01072	19,7	9,661	93,33
0,1445	0,02089	16,8	6,918	47,86	0,1023	0,01047	19,8	9,772	95,50
0,1429	0,02042	16,9	6,998	48,98	0,1012	0,01023	19,9	9,886	97,72
					0,1000	0,01000	20,0	10,000	100,00

Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей	-6дБ +	Отношение напряжений или токов	Отношение мощностей
$3,162 \times 10^{-1}$	10^{-1}	10	3,162	10
10^{-1}	10^{-2}	20	10	10^2
$3,162 \times 10^{-2}$	10^{-3}	30	$3,162 \times 10$	10^3
10^{-2}	10^{-4}	40	10^2	10^4
$3,162 \times 10^{-3}$	10^{-5}	50	$3,162 \times 10^2$	10^5
10^{-3}	10^{-6}	60	10^3	10^6
$3,162 \times 10^{-4}$	10^{-7}	70	$3,162 \times 10^3$	10^7
10^{-4}	10^{-8}	80	10^4	10^8
$3,162 \times 10^{-5}$	10^{-9}	90	$3,162 \times 10^4$	10^9
10^{-5}	10^{-10}	100	10^5	10^{10}

Таблица 9.3

Умножить	на	Чтобы получить
Мили	0,95	Децибелы (или ТУ)
»	0,11	Неперы
»	1,1	Децинеперы
Неперы	10	»
»	9,18	Мили
»	8,7	Децибелы
Децибелы	1,06	Мили
»	0,115	Неперы
»	1,15	Децинеперы
»	10	Белы

НУЛЕВЫЕ УРОВНИ СИЛЫ ЗВУКА И ГРОМКОСТИ

Сила звука и громкость иногда указываются прямо числом децибел без указания того уровня, от которого начинается отсчет данных децибел. Это часто приводит к недоразумениям, ибо нулевых уровней для начала отсчета децибел существует несколько.

Сила звука определяется в основном давлением, образуемым в среде, по которой распространяется звук:

$$I = \frac{p^2}{c \cdot \rho},$$

где I — сила звука в эргах в секунду на кв. сантиметр,
 p — эффективная величина звукового давления в барах,
 c — скорость распространения в сантиметрах в секунду (обычно около 34 000 см/сек);

ρ — плотность среды в г/см³ (нормально 0,0013 г/см³).

Переводя эрги в микроватты и объединяя цифровой коэффициент, получим зависимость между силой звука и давлением:

$$I_0 = 0,0023 p^2, \text{ или } p = 21 \sqrt{I_0}$$

где I_0 — сила звука в мквт/см²,

p — среднее квадратичное давление в барах.

От какого нуля вести отсчеты? В различных случаях могут требоваться отсчеты от разных уровней (нулевых линий), но основным нулем для шкалы громкостей обычно принимается предел слышимости нормального человеческого уха. Этот предел установить вполне точно довольно трудно, так как нет стандарта на «среднее нормальное человеческое ухо». Ввиду того что ухо наиболее чувствительно к средним частотам — несколько выше 1000 гц, было принято считать за нуль предел слышимости при чистом тоне в 1000 гц. Последние годы этот предел считался соответствующим давлению в $4 \cdot 10^{-4}$ б, или, переводя в круглую цифру микроватт на кв. сантиметр, $4 \cdot 10^{-10}$ мквт/см². От этого уровня отсчитывались и сила звука, и громкость (для 1000 гц). Некоторыми исследователями за нуль принимался звук, создающий при 1000 гц давление в $\sqrt{10} \cdot 10^{-4}$ б, но практически это почти не вносило разницы по сравнению с предыдущим определением.

За последние годы по инициативе американцев внесено некоторое уточнение в определение нулевой линии для силы звука. Исследования показали, что ухо в среднем несколько чувствительнее, чем это определялось раньше. В настоящее время за нуль принята сила звука, соответствующая «круглому» числу в 10^{-16} вт/см², что довольно близко подходит к пределу слышимости для тона в 1000 гц. При переводе на звуковое давление эта сила звука дает 0,0002 б (точнее 0,000204 б при 20° Ц и давлении в 760 мм рт. ст.). Новый акустический стандарт в 4 раза чувствительнее старого по мощности и в 2 раза по давлению (примерно на 6 дб).

Ниже приведена сравнительная табл. 9. 4 этих «нулей».

При пользовании таблицами и графиками старого акустического стандарта надо добавлять 6 дб (или 4 при уровне в $\sqrt{10} \cdot 10^{-4}$ б).

Для перевода некоторых сил звуков из одной системы отсчетов в другую приводим табл. 9. 5 различных уровней, применяемых для перевода громкости в звуковом кино.

При расчетах усилительных схем применение системы децибел дало такие большие удобства, что в настоящее время коэффициенты усиления и ослабления электрических мощностей, искажения, уровни электрической мощности, резонансные кривые и различные характеристики чаще всего выражаются в децибелах. Для того же, чтобы децибелами обозначать не только качественные, но и количественные показатели, потребовалось установление электрического «нулевого уровня децибельной системы».

Международного стандарта электрического нулевого уровня пока еще нет, практически же встречаются три различных системы, в которых за «нуль» принимается мощность:

1) в 6 ватт (отдача мощности 0,006 вт стандартным конденсаторным микрофоном, работающим на нагрузочную цепь в 25 мегом). Этот уровень широко используется американскими и английскими фирмами (в частности такими крупными, как Western Electric Co, Bell Co);

Таблица 9.4

Наименование «уровня»	Определение нуля	Сравни- тельная разница в дБ
Новый акустический	10^{-16} вт/см^2 (0,000204 б)	0
Старый акустический	$4 \cdot 10^{-16} \text{ вт/см}^2$ ($4 \cdot 10^{-4}$ б)	+6
Промежуточный акустический	$\sqrt{10} \cdot 10^{-16} \text{ б}$	+4
Фонический	1 мквт/см ²	+100

Таблица 9.5

Источник звука	Полная мощность	На расстоя- нии в м	Децибелы выше уровня		
			нового акусти- ческого	старого акусти- ческого	фони- ческого
Шопот	0,001 мквт	0,9	23	17	-77
Средней громкости речь	10 »	0,9	63	57	-37
Очень громкая речь	1000 »	0,9	83	77	-17
Пики речи	5000 »	0,9	90	84	-10
Пики пения	30 000 »	0,9	98	92	-2,2
Тихая игра скрипки	4 »	3	49	43	-51
Рояль (в среднем)	4 000 »	3	79	73	-21
Рояль (пиковая мощ- ность)	2 вт	3	106	100	+6
Барабан (пики)	25 »	4,5	113	107	+13
Оркестр в 75 единиц (пики)	113 »	4,5	119	113	+19
Орган (пики)	105 »	4,5	111	105	+11

2) в 12,5 мвт. Этот уровень используется крупнейшей радифирмой США Radio Corporation of America;

3) в 1 мвт. Этот «нуль» представляет известные удобства вычислительного характера, отличаясь от обоих предыдущих «нулей» приблизительно на 8 и 11 дБ. Многие лаборатории и предприятия СССР пользуются этим нулевым уровнем (стандартный телефонный уровень, соответствующий напряжению 0,775 в на нагрузке 600 ом). Повидимому этот «нуль» сделается стандартом и для всех американских фирм.

При установленном нулевом уровне все абсолютные величины электрической мощности уже могут быть выражены просто числом децибел ($\pm$ дБ). Для облегчения расчетов приводим табл. 9.7, в которой величины мощностей переведены в децибелы для всех трех нулевых уровней.

Шкала акустических уровней

Шкала мощн. в дБ	Эквивалент- ный звук	Звуковое давление в б	Скорость частиц воздуха в см/сек	Движение воздуха в мм при 1000 пер/сек	Сила звука в мквт/см²	Отношение мощностей
0	Предел слышимости	0,000204	0,0000050	$2,22 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-10}$	1
5	Шопот на расстоянии 120 см	0,000363	0,0000089	$3,95 \cdot 10^{-8}$	$3,16 \cdot 10^{-10}$	3,16
10		0,000645	0,0000158	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	10
15		0,001146	0,0000281	$1,25 \cdot 10^{-7}$	$3,16 \cdot 10^{-9}$	31,6
20		0,00204	0,000050	$2,22 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	100
25		0,00363	0,000089	$3,95 \cdot 10^{-7}$	$3,16 \cdot 10^{-8}$	316
30	Игра на скрипке на расстоянии 4 м	0,00645	0,000158	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	10^3
35		0,01146	0,000281	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-7}$	$3,16 \cdot 10^3$
40		0,0204	0,00050	$2,22 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	10^4
45		0,0363	0,00089	$3,95 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^4$
50		0,0645	0,00158	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	10^5
55	Обычный разговор на расстоянии 1 м	0,1146	0,00281	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^5$
60		0,204	0,0050	$2,22 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	10^6
65		0,363	0,0089	$3,95 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^{-4}$	$3,16 \cdot 10^6$
70		0,645	0,0158	$7,0 \cdot 10^{-5}$	0,00100	107
75		1,146	0,0281	$1,25 \cdot 10^{-4}$	0,00316	$3,16 \cdot 10^7$
80	Большой оркестр	2,04	0,050	$2,22 \cdot 10^{-4}$	0,0100	10^8
85		3,63	0,089	$3,95 \cdot 10^{-4}$	0,0316	$3,16 \cdot 10^8$
90		6,45	0,158	0,00070	0,100	10^9
95		11,46	0,281	0,00125	0,316	$3,16 \cdot 10^9$
100		20,4	0,50	0,00222	1,00	10^{10}
105	Удар молота на расстоянии 1 м	36,3	0,86	0,00395	3,16	$3,16 \cdot 10^{10}$
110		64,5	0,58	0,0070	10,0	10^{11}
115		114,6	2,81	0,0125	31,6	$3,16 \cdot 10^{11}$
120		303	5,0	0,0222	100	10^{12}
125		363	8,9	0,395	316	$3,16 \cdot 10^{12}$
130	Болевой предел	645	15,8	0,9	1000	10^{13}

Электрические мощности

для различных электрических нулевых уровней, выраженные
в децибелах

Мощность	При нулевом уровне в		
	1 метр	6 метр	12,5 метр
0,000 000 001 мквт	-120	-128	-131
0,000 000 01 »	-110	-118	-121
0,000 0-0 1 »	-100	-108	-111
0,000 001 »	- 90	- 98	-101
0,000 01 »	- 80	- 88	- 91
0,000 1 »	- 70	- 78	- 81
0,001 »	- 60	- 68	- 71
0,01 »	- 50	- 58	- 61
0,1 »	- 40	- 48	- 51
1 мквт	- 30	- 38	- 41
0,01 мвт	- 20	- 28	- 31
0,1 »	- 10	- 18	- 21
1 »	- 0	- 8	- 11
6 »	+ 7,8	0	- 3,2
10 »	+ 10	+ 2	- 1
12,5 »	+ 11	+ 3,2	- 0
100 »	+ 20	+ 12	+ 9
1 вт	+ 30	+ 22	+ 19
10 »	+ 40	+ 32	+ 29
100 »	+ 50	+ 42	+ 39
1 квт	+ 60	+ 52	+ 49

Примечание. Значения, поставленные в колонках, округлены до
целых децибел.

ГРОМКОСТЬ И СИЛА ЗВУКА

Громкостью для тона 1000 гц называется сила звука, выраженная в децибелах над нулевым для этого тона уровнем (10^{-16} вт/см²). Громкостью для всякого чистого тона другой частоты называется сила 1000-герцного звука, имеющего такую же громкость. Следовательно, сила звука и громкость, выраженные в децибелах, будут точно совпадать только для одного тона в 1000 гц. Однако для практических целей можно считать, что частоты

от 300 до 4000 гц (т. е. практически основные частоты музыкального диапазона) дают величины громкостей, равные силе звука. Для частот, выходящих за оба предела указанного диапазона 300—4000 гц, приходится пользоваться кривыми, приведенными на рис 9.1.. Для сложных музыкальных звуков кривые перехода с силы звука на громкость дать весьма трудно. При практических измерениях сложный звук должен быть уравнен в громкости (на-слух при одном и том же положении уха) со звуком в 1000 гц, и затем громкость сложного звука определяется как громкость (сила звука) равноценного ему по громкости 1000-герцевого тона.

Громкость измеряется числом децибел, на которое рассматриваемый звук (сила звука в определенном месте) превышает предел слышимости (для частоты 1000 гц = $4 \cdot 10^{-16}$ мквт/см², или 0,0004 б). Средней стандартной громкостью считается громкость, на 60 дб (в миллион раз по мощности) превышающая предел слышимости. Громкая радиопередача или музыка соответствует громкости в 70 дб. Для того чтобы одна передача не мешала другой, разница между их громкостями должна быть около 40 дб. Звук перестает казаться звуком и вызывает ощущение боли при 120—130 дб.

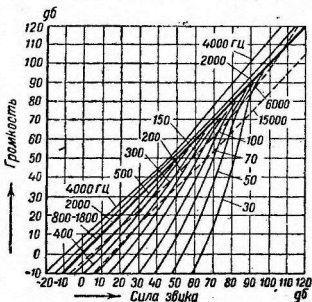


Рис. 9. 1. Зависимость между силой звука и громкостью.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРОМКОСТИ

В радиовещании довольно часто приходится встречаться с регуляторами громкости различных типов. В зависимости от места в схеме и назначения регулятор громкости должен быть выполнен по различным схемам. Наиболее характерными случаями надо считать следующие:

I. Цепь нагрузки не меняет режима работы предыдущего устройства (источника сигналов), так как сопротивление входа нагрузочной цепи значительно превосходит по величине сопротивление выхода источника. Источник колебаний в этом случае работает на постоянное сопротивление, и регулирование громкости сводится к снятию с этого сопротивления потребных напряжений.

II. Генератор (источник колебаний) должен отдавать значительную мощность в цепь нагрузки в условиях постоянства нагрузочного сопротивления. Нагрузочное сопротивление во избежание искажений также должно работать от сопротивления (генератора) постоянной величины.

Таблица 9.8

Громкость в дБ	Сравни- тельная величина мощностей	Соответственная громкость
130	10^{13}	Болевой предел. Звук становится неслышным
120	10^{12}	Авиамотор на расстоянии 5 м. Сильные удары грома
110	10^{11}	Пневматический молот. Котельные работы. Сварочная мастерская
100	10^{10}	Клепальная машина. Автосирена
90	10^9	Автомобильный гудок на близком расстоянии. Пневматическая дрель. Шумные аплодисменты
80	10^8	Очень громкая работа громкоговорителя. Шумная улица
70	10^7	Машин. отделение. Шумный ресторан. Мотор грузовика. Внутри трамвая
60	10^6	Громкий радиоприемник. Шум в большом универсальном магазине. Обычн. разговор на расстоянии 1 м
50	10^5	Слабая работа громкоговорителя. Средний ресторанный шум. Контора с открытыми на улицу окнами
40	10^4	Негромкая музыка. Шум жилого помещения. Контора
30	1000	Шопот (1 м). Тихая комната. Спокойная контора. Шум зрительного зала (в среднем за представление)
20	100	Тихий сад. Хороший театр без зрителей
10	10	Шорох листьев. Слабый шопот на расстоянии 1 м. Специальные студии звукового кино
0	1	Предел слышимости человеческого уха

Регуляторы напряжения (I типа)

Характерным примером регулятора I типа является регулировочный потенциометр для изменения напряжения, снимаемого с граммофонного адаптера на вход усилителя. Простейшая схема такого адаптерного регулятора громкости показана на рис. 9. 2. Сопротивление входа усилителя обычно во много раз больше полного сопротивления потенциометра. Поэтому токами, отвечающими в усилителе, можно пренебречь, и потенциометр фактически превращается в делитель напряжения. Расчет отдельных участков этого потенциометра производится довольно просто в зависимости от потребной плавности регулирования. При неизменном токе через сопротивление R_0 напряжения, снимаемые с того или иного участка потенциометра, $\frac{1}{R_0}$ прямо пропорциональны величинам сопротивлений этих участков. Эта пропорциональность значительно упрощает расчет отдельных ветвей. Вполне допустимо с точки зрения полной плавности изменения громкости рассчитать потенциометр так, чтобы каждое следующее положение ручки регулятора изменяло громкость на 1,5—2 дб. Это соответствует изменению входного напряжения в 1,2—1,3 раза.

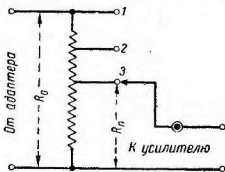


Рис. 9. 2. Принципиальная схема делителя напряжения.

Приведем образец расчета типичного регулятора громкости для работы от адаптера. Полное сопротивление R_0 регулятора примем равным 100 000 ом; регулирование должно осуществляться 15 отводами, из которых каждый должен давать уменьшение на 2 дб (по сравнению с положением ручки переключателя на предыдущем отводе). Уменьшение на 2 дб требует изменения напряжения, а в данном случае и пропорционального ему сопротивления до 0,794 от предыдущего значения. Эту величину 0,794 берем из основной табл. 9. 1 децибел по графе отношения напряжений или токов (для строки — 2 дб).

Следовательно, первый отвод (контакт 2 на схеме) должен делать сопротивление остающейся части потенциометра равным $100\,000 \cdot 0,794 = 79\,400$ ом. Следующий контакт 3 должен иметь сопротивление (R_n) в $79\,400 \cdot 0,794 = 63\,100$ ом. Дальнейший расчет сводим в готовую табл. 9. 9.

Таблица 9. 9

Полное сопротивление $R_0 = 100\,000$ ом

Ослабление	2 дб		Ослабление	16 дб	
»	4 »	79 400 »	»	18 »	15 900 ом
»	6 »	63 100 »	»	20 »	12 600 »
»	8 »	50 100 »	»	22 »	10 000 »
»	10 »	39 800 »	»	24 »	7 940 »
»	12 »	31 600 »	»	26 »	6 310 »
»	14 »	25 100 »	»	28 »	5 010 »
		20 000 »	»	30 »	3 980 »
			»	32 »	3 160 »
					3 510 »

Этой таблицей можно пользоваться при любой другой величине полного сопротивления (R_0) регулятора; для этого величины всех сопротивлений табл. 9.9 должны быть изменены (увеличены или уменьшены) во столько же раз, во сколько раз действительное сопротивление регулятора больше или меньше сопротивления в 100 000 ом (выбранного нами для составления расчетной таблицы).

Работа генератора на нагрузку

Прежде чем дать расчет уравновешенных регуляторов мощности, необходимо привести соотношения, регулирующие передачу энергии из цепи генератора в цепь нагрузки при различных соотношениях между сопротивлениями этих цепей.

Для генератора с электродвижущей силой E (вольт) и внутренним сопротивлением R (ом), работающего на нагрузочное сопротивление r (ом), основные соотношения:

общая (одинаковая в любой точке цепи) сила тока $I_0 = \frac{E}{R+r}$ (ампер)

сила тока короткого ($r = 0$) замыкания $I_K = \frac{E}{R}$ (ампер);

полная мощность, выделяемая в цепи $P_0 = \frac{E^2}{R+r}$ (ватт);

мощность, выделяемая в нагрузке $P_r = \frac{E^2 \cdot r}{(R+r)^2}$ (ватт);

напряжение на нагрузке (зажимах генератора) $U_r = \frac{E \cdot r}{R+r}$ (вольт);

мощность короткого замыкания $P_K = \frac{E^2}{R}$ (ватт).

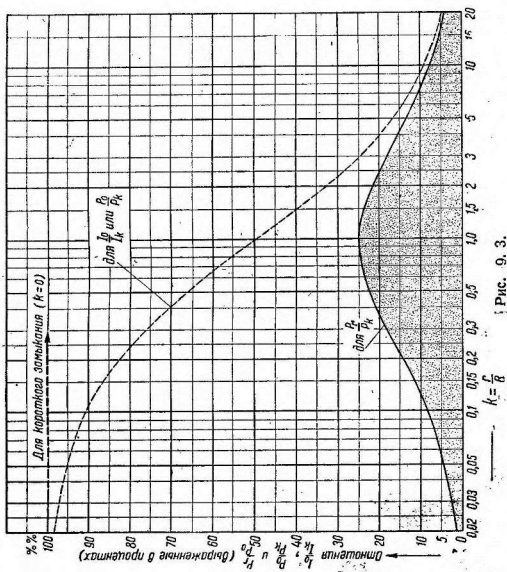
Распределение энергии между сопротивлениями генератора и нагрузки зависит исключительно от коэффициента нагрузки или, иначе, от соотношения сопротивлений $k = \frac{r}{R}$.

Основное распределение энергии показано на рис. 9.3. На этом графике за 100% приняты величины силы тока и полной мощности, соответствующие условию короткого замыкания. Как видно из графика, максимальная мощность в цепи нагрузки соответствует условию равенства сопротивлений

R и r ($k = \frac{r}{R} = 1$). При этом полезная мощность в цепи нагрузки по величине составляет лишь 25% от максимально возможного расхода мощности (внутри генератора) при коротком замыкании ($r = 0$).

Пунктирной линией на графике рис. 9.3 показана полная мощность, выделяемая источником тока (отдаваемая в нагрузочную цепь вместе с расходуемой во внутреннем сопротивлении самого источника тока). Сплошной линией и заштрихованной площадью указана полезная часть мощности, поступающая во внешнюю цепь (нагрузочное сопротивление).

Усилительные и регулирующие установки в большинстве случаев рассчитываются на постоянный режим работы при максимальной отдаче мощности, поэтому за исходную величину мощности принимается та максимальная мощность, которая может быть получена в нагрузочной цепи. На графике



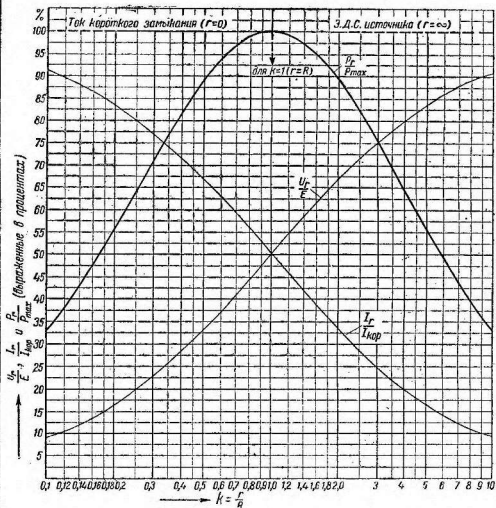


Рис. 9. 4.

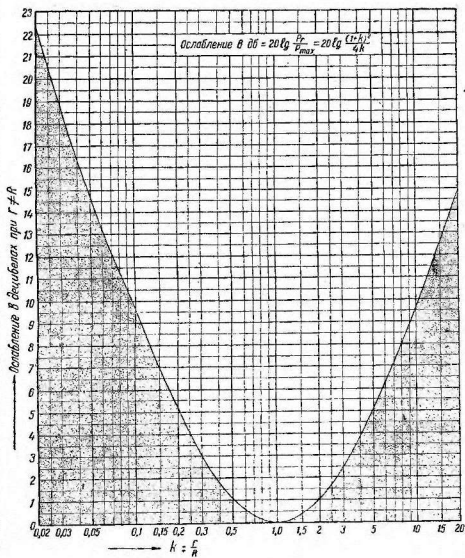


Рис. 9. 5.

рис. 9. 4 показаны изменения мощности, силы тока и напряжения, получаемые в нагрузочной цепи. На этом графике за 100% принята мощность в нагрузочной цепи для условия $k = 1$ ($R = r$); сила тока в цепи при этом режиме и напряжение на нагрузочном сопротивлении составляют всего лишь 50% от максимально возможных.

На графике рис. 9. 5 показаны выраженные в децибелах величины ослабления, получаемые при несоблюдении равенства нагрузок. Из этого графика наглядно видно, что отклонения от оптимального режима на 100% ($2 > k > 0,5$) вызывают ослабление не больше 1 дб, т. е. практически не могут быть обнаружены на-слух.

Регуляторы мощности

A.— $R \neq r$, — упрощенная схема рис. 9.6

Трансформаторная схема легко позволяет уравнивать сопротивления источника тока и нагрузки с переводом схемы в режим максимальной отдачи мощности. Однако всякое регулирование громкости уже требует применения дополнительной схемы, вносящей ослабление, но не изменяющей режима работы как источника тока, так и нагрузочного устройства. На рис. 9. 6, I

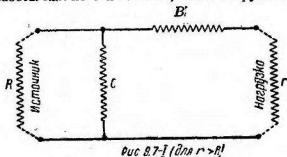


рис. 9.7-I (для $r > R$)

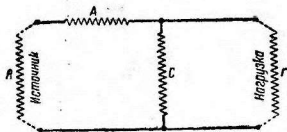


рис. 9.7-II (для $r < R$)

Рис. 9. 6.

Для схемы рис. 9. 7, II (случай, когда сопротивление источника больше сопротивления нагрузки) уравнение сопротивлений требует выполнения условий:

$$R = A + \frac{C \cdot r}{C + r} \quad \text{и} \quad r = \frac{(A + R)C}{A + R + C}.$$

Эти схемы позволяют получить в переходном четырехполюснике наименьшее возможное ослабление.

Расчет плеч производится по следующим формулам:

для схемы рис. 9. 6, I:

$$B = \sqrt{r(r-R)} \quad \text{и} \quad C = \frac{R \cdot r}{\sqrt{r(r-R)}};$$

для схемы рис. 9. 6, II:

$$A = \sqrt{R(R-r)} \quad \text{и} \quad C = \frac{R}{\sqrt{R(R-r)}}.$$

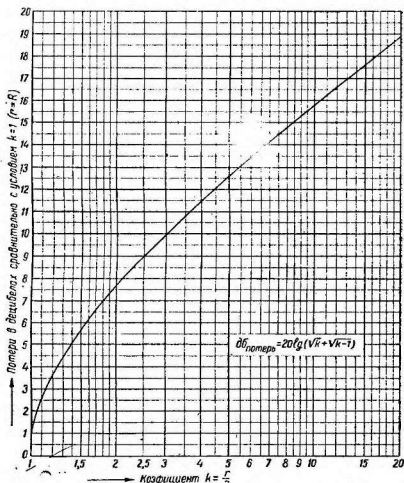


Рис. 9. 7. График расчета потерь в уравновешенном четырехполоснике при неравенстве (по сравнению с условием $r = R$).

Отношение большего сопротивления к меньшему $k = \frac{r}{R}$ (для схемы рис. 9. 6, I) или $k = \frac{R}{r}$ (для схемы рис. 9. 6, II) позволяет сразу указать

величину вносимого ослабления (схемы рис. 9. 6 дают минимально возможное ослабление). Это минимальное ослабление может быть вычислено в децибелах по формуле

$$N_{\min} = 20 \lg(\sqrt{k-1} + \sqrt{k}),$$

которая годна для любой из двух схем рис. 9. 6 при условии $k > 1$ (берется отношение большего сопротивления к меньшему, причем безразлично, какое сопротивление относится к источнику тока и какое — к нагрузочной цепи).

График рис 9. 7 составлен для этой формулы и позволяет сразу установить минимально возможное ослабление, вносимое схемой уравнительного четырехполюсника. Следует отметить, что очень небольшое отклонение от условия равенства сопротивлений неизбежно влечет достаточно большое ослабление. Так, например, при уравнении источника тока, обладающего внутренним сопротивлением $R = 200$ ом, с нагрузочной цепью $r = 220$ ом неизбежно ослабление сигнала на 2,7 дб.

В. Для условия $R = r$ — схемы по рис. 9. 8

Регулятор громкости трансляционного типа, основанный на равенстве и неизменности сопротивлений входа и выхода, может быть изготовлен по одной из схем, приведенных на рис. 9. 8. При расчете принято, что] сопротивления входа и выхода регулятора одинаковы (или приведены к одному сопротивлению при помощи трансформатора с соответствующим коэффициентом трансформации). Величины сопротивлений регулировочных четырехполюсников, приведенных на рис. 9. 8, зависят как от величины

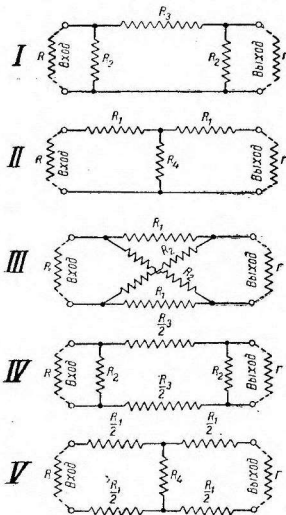


Рис. 9. 8. Различные типы схем делителей мощности.

желаемого ослабления сигнала, так и от величины сопротивления входа (выхода). Для упрощения расчетов приведем готовую таблицу, просчитан-

ную для наиболее важного в практике случая—работы на длинную линию, сопротивление которой можно считать равным 600 ом. В табл. 9.10 приведены все величины отдельных сопротивлений, составляющих регулировочный четырехполюсник по любой из схем, показанных на рис. 9.8. На всех пяти схемах рис. 9.8 буквы с одинаковыми индексами обозначают одни и те же значения и берутся из тех же самых столбцов таблицы. При расчете регулятора по схемам IV и V данные для R_1 и R_3 , взятые из соответствующих колонок табл. 9.10, должны быть разделены пополам, как это и указано на самих схемах.

Таблица 9.10

Величины сопротивлений регулятора типа II при $R_{вх}=R_{вых}=600$ ом
(по схемам рис. 9.8)

Ослабление в дБ	R_1 ом	R_2 ом	R_3 ом	R_4 ом
0,25	8,82	40 800	17,7	20 300
0,5	17,2	20 900	34,6	10 400
1,0	34,5	10 400	69,2	5 200
1,5	51,6	6 970	104	3 450
2,0	68,8	5 240	139	2 580
2,5	85,8	4 200	175	2 050
3,0	103	3 510	231	1 700
3,5	119	3 020	248	1 450
4,0	136	2 660	287	1 260
4,5	152	2 370	325	1 110
5,0	168	2 140	365	987
6,0	200	1 800	448	803
7	229	1 570	538	670
8	258	1 390	635	567
9	286	1 260	739	487
10	312	1 160	854	422
15	419	859	1 630	220
20	491	733	2 970	121
25	536	671	5 330	67,6
30	563	639	9 480	38,0
35	579	622	16 900	21,3
40	588	612	30 000	12,0

Таблица составлена для случая $R_{вх}=R_{вых}=600$ ом. В том случае, если расчетное сопротивление отличается от этой величины 600 ом, все табличные данные (цифры всех колонок табл. 9.10, кроме первой колонки, дающей количество децибел) должны быть увеличены или уменьшены во столько же раз, во сколько раз расчетное сопротивление больше или меньше стандартного сопротивления в 600 ом.

При выполнении таких регуляторов громкости в виде законченной конструкции необходимо ползунки (при кнопочном типе переключения) сажать на одной оси, с тем чтобы при вращении единственной управляющей рукоятки регулятора одновременно происходило включение всех нужных участков сопротивлений. Таким образом переключатель должен быть строеного или счетверенного типа. Сопротивления отдельных участков четырехполосников рассчитаны по следующим формулам:

$$R_1 = R_0 \operatorname{th} \frac{\theta}{2};$$

$$R_2 = R_0 \operatorname{cth} \frac{\theta}{2};$$

$$R_3 = R_0 \operatorname{sh} \theta;$$

$$R_4 = \frac{R_0}{\operatorname{sh} \theta}.$$

Величина θ подсчитывается из выражения:

$$\theta = \frac{N_{\text{дб}}}{8,686},$$

где $N_{\text{дб}}$ — требуемое ослабление в децибелах.

*† Необходимые для самостоятельного расчета таблицы гиперболических функций помещены на стр. 67—71.

С. Регулятор мостикового типа $R = r$ (рис. 9. 10)

Конструкция регулятора мощности может быть значительно упрощена применением схемы рис. 9. 9, позволяющей осуществить регулировку с помощью только двух переменных плеч (вместо трех или четырех). Сопротивления R' и R'' выбираются равными общенагрузочному сопротивлению:

$$R' = R'' = R = r.$$

Сопротивления переменных плеч P и W в зависимости от необходимого затухания вычисляются по формулам:

$$P = r \left(10^{\frac{N}{20}} - 1 \right)$$

и

$$W = \frac{r}{10^{\frac{N}{20}} - 1},$$

Рис. 9. 9.

где N — требуемое ослабление в децибелах,

r — входное (выходное) сопротивление.

Все сопротивления (R , r , R' , R'' , P и W) должны быть выражены в любых, но одинаковых единицах.

Величины $10^{\frac{N}{20}}$ берутся из таблиц логарифмов. Для облегчения расчетов приводим табл. 9. 11, в которой помещены входящие в формулы коэффициенты, подсчитанные для наиболее ходовых величин затухания.

Коэффициенты для расчета регулятора мостикового типа

(для условия $R = r = R^* = R''$, рис. 9. 10)

$\frac{N}{66}$	$\frac{N}{20}$	$\frac{N}{10^{20}}$	$\frac{N}{10^{20}-1}$	$\frac{1}{\frac{N}{10^{20}-1}}$
0,5	0,025	1,059	0,059	16,95
1	0,05	1,122	0,122	8,19
2	0,10	1,259	0,259	3,86
3	0,15	1,413	0,413	2,42
4	0,20	1,585	0,585	1,710
5	0,25	1,778	0,778	1,286
6	0,30	1,995	0,995	1,005
7	0,35	2,239	1,239	0,807
8	0,40	2,512	1,512	0,661
9	0,45	2,818	1,818	0,550
10	0,50	3,162	2,162	0,463
11	0,55	3,548	2,548	0,393
12	0,60	3,981	2,981	0,335
13	0,65	4,467	3,467	0,2885
14	0,70	5,012	4,012	0,2492
15	0,75	5,623	4,623	0,2162
16	0,80	6,310	5,310	0,1883
18	0,90	7,943	6,943	0,1440
20	1,00	10,00	9,00	0,1111
22	1,10	12,59	11,59	0,0863
25	1,25	17,78	16,78	0,0596
30	1,50	31,62	30,62	0,0327
35	1,75	56,23	55,23	0,0181
40	2,00	100,0	99,0	0,0101
45	2,25	177,8	176,8	0,00566
50	2,5	316,2	315,2	0,00317

D. Общий случай уравненного регулятора мощности при $k \neq 1$

Приводим расчет уравненного делителя мощности для самого общего случая схемы рис. 9. 10, когда сопротивление источника тока не равно сопротивлению нагрузки, а затухание, вносимое четырехплосником, может принимать любое заданное значение (в пределах положительных значений сопротивлений А и В).

Уравненный тип регулятора предполагает неизменность и равенство внутреннего и внешнего сопротивлений как для входа (источника); так и для выхода (нагрузочной цепи). Для схемы рис. 9. 10 это требование обозначает, что при любом режиме работы должны удовлетворяться соотношения

$$R = A + \frac{(B + r) C}{B + r + C}$$

$$r = B + \frac{(A + R) C}{A + R + C}$$

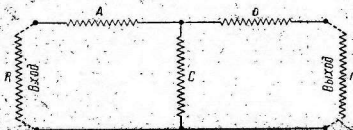


Рис. 9. 10.

Из этих основных уравнений можно определить величины сопротивлений отдельных плеч четырехполюсника. Приводим окончательные формулы:

$$A = R \cdot \frac{T^2 - 2Tk + k}{T^2 - k};$$

$$B = R \cdot \frac{k(T^2 - 2T + k)}{T^2 - k};$$

$$C = R \cdot \frac{2Tk}{T^2 - k}.$$

Здесь $k = \frac{r}{R}$.

T — вспомогательный коэффициент, определяемый по графику рис. 9. 11 или из формулы $\lg T = \frac{N + 10 \lg k}{20}$, или $\lg T = \frac{N}{20} + 0,5 \lg k$, где N — требуемое ослабление в децибелах.

Если по причинам вычислительного характера удобнее производить вычисления, пользуясь вместо R величиной сопротивления r , то расчет производится по формулам:

$$A = r \cdot \frac{T^2 - 2Tk + k}{k(T^2 - k)};$$

$$B = r \cdot \frac{T^2 - 2T + k}{T^2 - k};$$

$$C = r \cdot \frac{2T}{T^2 - k}.$$

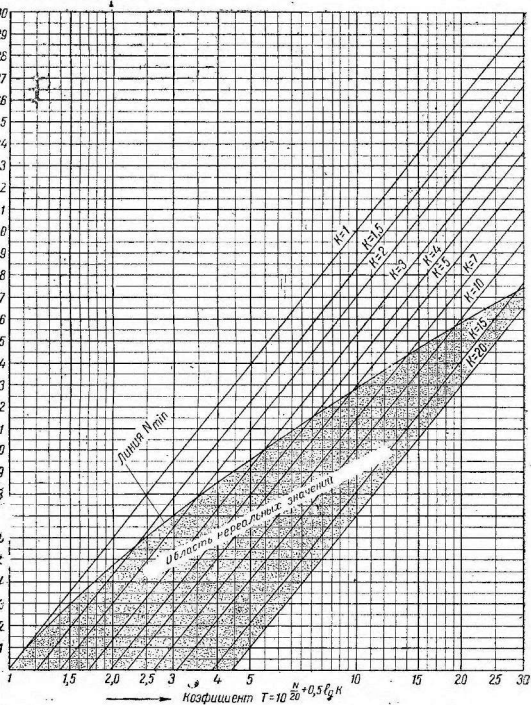


Рис. 9. 11.

При равенстве сопротивлений входа и выхода, т. е. для условий $k =$ (или $R = r$), расчет четырехполюсника значительно упрощается:

$$\left. \begin{aligned} \frac{A}{R} = \frac{A}{r} = \frac{B}{R} = \frac{B}{r} = \frac{T-1}{T+1} \\ \frac{C}{R} = \frac{C}{r} = \frac{2T}{T^2-1} \end{aligned} \right\} \text{ для } k = 1.$$

Ослабление, вносимое четырехполюсником при $R \neq r$, не может быть меньше некоторого предела, достигаемого в том случае, когда последовательное плечо (A или B) при большем из сопротивлений (R или r) уменьшается до нуля. В этом случае схема рис. 9. 10 переходит в уже рассмотренную выше схему рис. 9. 6. Минимальное затухание $N_{\min}$ в децибелах равно:

$$N_{\min} = 20 \lg (\sqrt{k-1} + \sqrt{k}),$$

где k — отношение большего сопротивления к меньшему ($\frac{R}{r}$, если $R > r$ или $\frac{r}{R}$ если $R < r$).

При определении минимального ослабления можно пользоваться графиком рис. 9. 11, на котором заштрихованная площадь указывает нереальные (требующие плеч с отрицательными сопротивлениями) значения ослабления

Е. Акустически-компенсированный регулятор громкости

При регулировании громкости в приемниках и усилителях низкой частоты одинаковое ослабление для всего частотного диапазона вызывает при малых громкостях ощущение «пропадания басов», так как чувствительность человеческого уха к разным частотам зависит от уровня громкости. Восстановление качества передачи при малой громкости производится повышением относительной силы низших частот, причем подобные частотные «искажения» должны меняться по величине при повороте ручки регулятора громкости. Дешевым и конструктивно удобным являются схемы потенциометра с емкостными сопротивлениями в параллельных цепях.

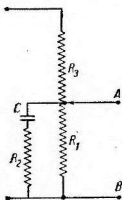


Рис. 9. 12.

Типовым является компенсированный регулятор по схеме рис. 9. 12. Основой для его расчета является большая величина сопротивления R_3 по сравнению с участком цепи между точками A и B . При этом условии напряжение на участке $A-B$ (снимаемое для дальнейшего усиления) будет прямо пропорциональным полному сопротивлению, представляемому данным участком для рассматриваемой рабочей частоты. Сопротивление R_2

включается последовательно с емкостью C с той целью, чтобы на высоких частотах емкость не вызвала слишком большого ослабления. Задачей расчета такого компенсированного регулятора является получение наибольшего, заданного по величине спада напряжения на избранном

участке частотного диапазона. В настоящее время практикой установлено, что повышение низших частот требуется на частотном участке между 400 и 100 гц. Подбор величин емкости C и сопротивлений R_1 и R_2 позволяет получить однозначное решение этой задачи. Приводим вкратце этот расчет.

Полное сопротивление участка цепей $A-B$ (рис. 9.12) для высшей граничной частоты f_B составит:

$$Z_B = \frac{R_1 \left(R_2 - j \frac{1}{\omega_B C} \right)}{R_1 + R_2 - j \frac{1}{\omega_B C}}.$$

То же сопротивление при низшей граничной частоте f_H

$$Z_H = \frac{R_1 \left(R_2 - j \frac{1}{\omega_H C} \right)}{R_1 + R_2 - j \frac{1}{\omega_H C}},$$

где $\omega_B = 2\pi f_B$ и $\omega_H = 2\pi f_H$.

Найдя максимум для отношения $\frac{Z_H}{Z_B}$ и решив его для C , получим:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\omega_H \omega_B R_2 (R_1 + R_2)}}.$$

Эта величина емкости и дает максимальный подъем «басов» на участке частотного диапазона между f_B и f_H .

Подставляя это значение в уравнения для Z_H и Z_B и вводя сокращенные обозначения

$$\begin{aligned} A &= R_1 R_2; \\ B &= R_1 + R_2; \\ N &= \frac{f_B}{f_H}, \end{aligned}$$

Получим окончательные расчетные формулы:

$$Z_H = \sqrt{\frac{A^2 + R_1 A B N}{B^2 + R_2 B N}} \quad \text{и} \quad Z_B = \sqrt{\frac{N A^2 + R_1 A B}{B^2 N + R_2 B}}.$$

Из этих формул можно подсчитать подъем напряжений между граничными частотами f_H и f_B :

$$K = \frac{U_{ABH}}{U_{ABV}} = \frac{Z_H}{Z_B} = \sqrt{\frac{(A + R_1 B N)(B N + R_2)}{(A N + B R_1)(B + N R_2)}}.$$

Расчет по приведенным формулам требует довольно много вычислительной работы, поэтому для упрощенных расчетов можно пользоваться графиком рис. 9.13, составленным для некоторых частных значений величин R ,

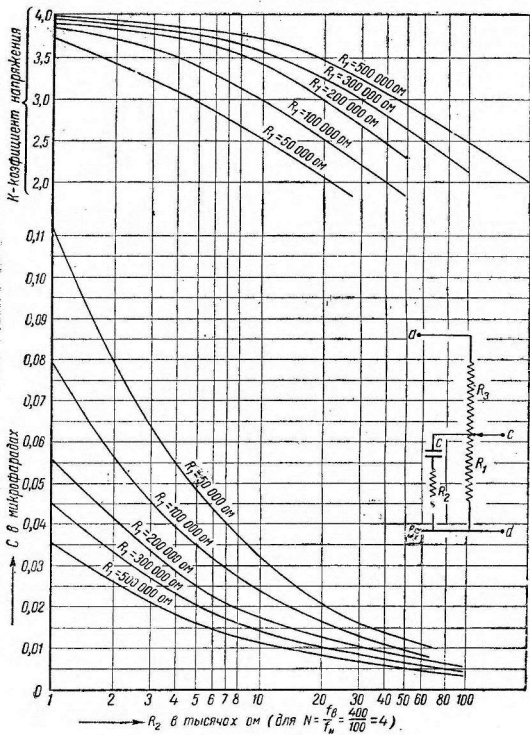


Рис. 9. 13:

наиболее часто встречающихся в практических условиях. Отношение крайних частот при составлении этого графика было взято равным $4 \left(N = \frac{400 \text{ гц}}{100 \text{ гц}} \right)$. При пользовании графиком должно быть известно одно из сопротивлений (R_1 или R_2) и задан желательный «подъем басов» $K \left(K = \frac{Z_H}{Z_N} \right)$. Пересечение

линии для K в верхней части графика с кривой для сопротивления R_1 или с ординатой для заданного R_2 дает расчетную ординату, пересечение которой с кривой для того же значения R_1 позволяет получить требуемую емкость по левой нижней шкале.

Пример. Требуется получить подъем басов $K = 3$ при величине сопротивления $R_1 = 100\,000 \text{ ом}$.

Решение. В верхней части графика рис. 9.13 находим точку пересечения горизонтальной линии для $K = 3$ с кривой для $R_1 = 100\,000 \text{ ом}$. Переносим точку пересечения вниз, читаем по нижней шкале требуемое сопротивление параллельной ветви $R_2 = 10\,000 \text{ ом}$. Точку пересечения этой же ординаты с кривой $R_1 = 100\,000 \text{ ом}$ в нижней части графика сносим горизонтально влево и по шкале C читаем отметку требуемой емкости:

$$C = 0,024 \text{ мкф.}$$

РАСЧЕТ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

АБОНЕНТСКИЙ ПУНКТ

При расчете проволочной вещательной системы в настоящее время приходится исходить из основной абонентской нагрузки — «Рекорда», являющегося наиболее распространенным типом громкоговорителя. Точным расчетам трансляционная линия не поддается, так как основные данные громкоговорителей широко изменяются в зависимости от экземпляра. Отклонения в величинах электрических параметров могут доходить до 100% и даже больше. Кроме того, следует иметь в виду несовпадение частотных характеристик даже для громкоговорителей одного выпуска.

Общей характеристикой «Рекорда» может быть следующая. Громкоговоритель «Рекорд» передает полосу от 150 до 3500 *гц*, имеет значительное западание на низких и высоких частотах, резко выделяет средние частоты, имея на этом участке несколько пик. Самая большая «пика» происходит обычно на частотах между 400 и 500 *гц*. Кроме того, громкоговоритель «Рекорд» сильно подвержен нелинейным искажениям, в особенности при низких частотах.

Заметно лучшими данными обладают громкоговорители со свободно колеблющейся системой, т. е. типа «Пролетарий». Основным их недостатком является чрезвычайно большая (в 2—3 раза по сравнению с «Рекордами») номинальная мощность.

Полных и исчерпывающих измерений для большого количества выпущенных заводами громкоговорителей произведено не было, поэтому при расчетах приходится исходить из отдельных измерений, часто к тому же неполных. Некоторые основные данные разных типов громкоговорителей приведены в табл. 10. 1.

При расчетах линии, нагруженной на громкоговорители типа «Рекорд», можно исходить из следующих средних электрических величин: индуктивность 3 *гн*, активное сопротивление 2000 *ом*.

Для громкоговорителей типа «Пролетарий»: индуктивность 1 *гн*, активное сопротивление 1000 *ом*.

При изменении частоты активное сопротивление не остается постоянным (увеличиваясь с частотой), однако точно учесть его изменение не является возможным.

Для общего расчета можно пользоваться следующими кривыми, приведенными на рис. 10. 1. Кривая А дает величины полного сопротивления абонентской точки, состоящей из одного громкоговорителя типа «Рекорд». Кривая подсчитана по общей формуле полного сопротивления с подстановкой указанных выше электрических данных (индуктивность 3 *гн*, активное сопротивление 2000 *ом*).

Кривая В того же рис. 10. 1 дает значения полного сопротивления абонентской точки, снабженной емкостным ограничителем с результирующей

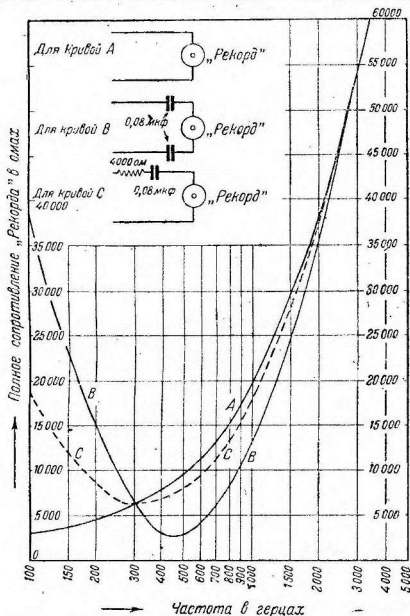


Рис. 10. 1. График для расчета полного сопротивления абонентской точки.

последовательной емкостью в 0,04 мкф. Емкостный ограничитель (см. соответствующую схему на рис. 10. 1) практически выполняется из двух последовательно включенных конденсаторов емкостью по 0,08 мкф. Этот емкостный

ограничитель доводит собственную частоту абонентской точки до 400—500 гц. Результирующая емкость в 0,04 мкф является компромиссным решением: при ее уменьшении будут быстро срезаться низшие частоты, при увеличении же емкости ограничитель перестает выполнять на высоких частотах свою основную роль — ограничивать ток в линии при случайном коротком замыкании у абонента. Лучшим ограничителем является комплексный ограничитель, состоящий из последовательно включенного конденсатора емкостью в 0,08 мкф и дополнительного активного сопротивления в 4000 ом.

Таблица 10.1

Основные данные громкоговорителей

Тип громкоговорителя Данные	«Рекорд» Горьковск. з-да им. Ленина	«Пролетарий» Горьковск. з-да им. Ленина 1935 г.	«Пролетарий» Харьковск. з-да
Воспроизводимая полоса частот (в гц)	200—3500	50—4500	100—5000
Частотные искажения в воспроизводимой полосе частот (в db)	11	9	10,5
Клирфактор при нормальном напряжении (в %)			
при частоте 100 гц	55	—	13
» » 300 »	8,5	—	6,5
Номинальное напряжение (в в)	25—30	35—40	35—40
Потребляемая мощность (в ватт)			
при частоте 100 гц	0,320	0,4	0,60
» » 200 »	0,194	—	0,47
» » 300 »	0,140	—	0,38
» » 400 »	0,129	—	0,33
» » 500 »	0,099	—	0,29
» » 1000 »	0,056	—	0,19
» » 2000 »	0,029	—	0,12
» » 3000 »	0,025	—	0,09
» » 4000 »	0,020	—	0,07

При комплексном ограничителе значительно сглаживается частотная характеристика абонентской точки (сглаживается наиболее острая и вредная пика при резонансе у частот 400—500 *гц*, уменьшаются искажения).

На рис. 10.1 кривая С дает полное сопротивление абонентской точки, состоящей из «Рекорда» и описанного комплексного ограничителя. Электрические величины этого комплексного ограничителя подобраны таким образом, что при частотах от резонансной частоты и выше напряжение на громкоговорителе остается примерно равным по величине напряжению, подводимому к абонентскому пункту. При частотах ниже резонансной напряжение на громкоговорителе будет составлять лишь часть (примерно до 0,5) подводимого.

При введении в расчеты угла сдвига фаз абонентского пункта следует иметь в виду, что точных цифровых данных не существует. Ориентировочно можно вводить в расчеты следующие сдвиги фаз:

1) Для отдельного громкоговорителя при всех частотах в пределах 200—4000 *гц* угол сдвига фаз можно принимать в 60—65°. Причиной постоянства угла является то, что активное сопротивление увеличивается с увеличением частоты.

2) При громкоговорителе «Рекорд» и стандартном емкостном ограничителе сдвиг фаз отсутствует при частоте около 450 *гц*. Далее сдвиг фаз достигает своей основной постоянной величины 60—65° при частоте 1000 *гц* (и выше). При частотах 100—200 *гц* влияние емкости делается настолько заметным, что сдвиг фаз можно принимать в —80—85°.

3) При стандартном комплексном ограничителе сдвиг фаз делается равным 0° при частоте примерно около 300 *гц*. При частоте 200 *гц* угол составляет —45°, при частоте 800 *гц* угол равен +45°. При более высоких частотах сдвиг фаз приближается к своему основному значению 60—65°.

УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ АБОНЕНТСКИХ МАГИСТРАЛЕЙ

Абонентской магистралью называется линия, непосредственно питающая абонентские точки (громкоговорители). Эта линия неизбежно является линией низкого напряжения, так как громкоговорители требуют вполне определенного напряжения (не более 30 в), а включение каждого громкоговорителя через индивидуальный понижающий трансформатор сильно усложнило бы и удорожило устройство распределительной сети.

Одним из основных требований, предъявляемых к распределительным сетям проволочного ведомственного узла, является уровень напряжений, подаваемых к абонентским установкам в различных пунктах линии. Подводимое к громкоговорителю напряжение не должно значительно отличаться от величин, указанных в табл. 10.1.

Соотношение между наибольшим напряжением (поступающим в абонентские точки, включенные в начале линии) и наименьшим (в конце линии) не должно превышать 2. Заранее можно сказать, что сооружение длинных абонентских магистралей недопустимо, так как вследствие большого затухания линии напряжение в конце линии может получиться в несколько раз меньше, чем в начале линии. Повышение же подаваемого напряжения на входе линии недопустимо, так как будут перегружаться громкоговорители, включенные в начале линии.

Фазовые искажения в абонентских магистралях весьма незначительны и, кроме того, они не воспринимаются ухом как искажения. Частотные искажения, вносимые короткими абонентскими магистралями, обычно незначительны (не превышают малозаметной для уха величины 2—2,5 *дб*).

Нелинейных искажений, являющихся основным злом в практике работы вещательных узлов, сами абонентские магистрали, можно считать, не вносят.

Исходя из вышеприведенных положений, можно расчет абонентских магистралей делать весьма упрощенным, сведя его в основном к расчету затуханий, вносимых нагруженной линией (подробно этот вопрос рассмотрен в книге Х. М. Виленского «Теория и расчет сетей проволочных вещательных узлов», Связьтехиздат, 1936).

Расчет линий приходится производить, исходя из мощности трансляционного усилителя для тех частот, при которых потребление мощности абонентскими магистралями делается максимальным, т. е. при частотах 400—600 гц.

Метод упрощенного расчета абонентских магистралей при низких частотах и достаточно больших нагрузках (20—100 громкоговорителей на километр линии) состоит в следующем.

Таблица 10.2

Полное сопротивление линии на 1 км ($Z_0 = R + j\omega L$)

Частота / в гц	Провод стальной						Провод бронзовый	Провод медный					
	диам. 2 мм		диам. 3 мм		диам. 4 мм		диам. 1,5 мм	сечение 2,5 мм ²		сечение 4 мм ²			
	Z_0 в ом	φ в °	Z_0 в ом	φ в °	Z_0 в ом	φ в °	Z_0 в ом	φ в °	Z_0 в ом	φ в °	Z_0 в ом	φ в °	Z_0 в ом
100	86	5	40	11	24	18	48	2	14	7	9	10	
200	88	10	44	18	29	27	48	4	14,5	18	9,4	20	
300	91	14	49	25	35	33	48	7	15	20	10	30	
400	95	18	54	30	40	36	49	9	15,5	25	11	37	
500	99	22	59	33	44	38	49	11	16	31	12	43	
600	104	25	64	35	48	40	49	13	17	37	13	48	
700	108	27	68	36	52	41	50	15	18	41	14	53	
800	113	30	73	37	66	42	50	17	20	44	15	56	
1000	125	33	83	39	70	42	51	21	22	50	19	62	
2000	176	39	115	41	85	42	60	38	37	70	34	75	
3000	212	40	139	42	103	42	73	50	53	75	50	80	
4000	240	41	160	42	117	43	88	57	70	78	66	82	
5000	270	41	177	42	131	43	104	63	86	81	82	84	

Нагруженная абонентская магистраль рассматривается как линия, состоящая из распределенных элементов (L , C , R линии) и сосредоточенных в отдельных пунктах линии нагрузок (групп громкоговорителей). Для основных частот 400—600 гц можно считать, что сдвиги фаз линии и громкоговорительных групп разнятся так мало, что в расчет могут не приниматься. Расчет входного сопротивления линий производится с конца линии; расчет

затухания передачи делается для каждого отдельного участка линии (с каждой новой группой громкоговорителей). Подсчеты ведутся в следующем порядке:

1) Для расчетной частоты (выбирается по вышеуказанным соображениям в пределах 400—600 гц) из графиков рис. 10. 1 определяется $Z_{гр}$ — сопротивление одной абонентской точки. Практически это будет величина порядка 4000—6000 ом.

2) По табл. 10. 2 для той же частоты находится Z_0 — полное сопротивление на 1 км линии выбранного типа.

3) Определяются сопротивления громкоговорительных групп, включенных в отдельных пунктах линии. Эти сопротивления определяются по формуле:

$$Z_n = \frac{Z_{гр}}{n},$$

где Z_n — сопротивление группы из n абонентских точек,

$Z_{гр}$ — сопротивление одной абонентской точки (из графика рис. 10. 1),

n — число абонентских точек в одной группе.

4) Определяются сопротивления отдельных участков линии (между соседними пунктами присоединения абонентских групп) по формуле:

$$Z_l = Z_0 \cdot l',$$

где Z_0 — полное сопротивление 1 км линии (по табл. 10. 2),

Z_l — сопротивление участка линии длиной l км,

l' — длина участка линии между соседними точками включения абонентских групп в километрах.

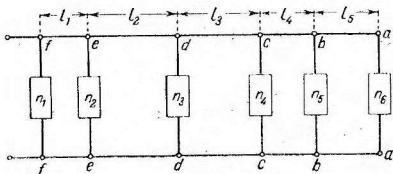


Рис. 10.2. Принципиальная схема для расчета абонентской магистрали.

5) По обычным формулам последовательного и параллельного соединений сопротивлений находится выходное сопротивление нагруженной линии. Комбинирование сопротивлений производим с конца. Так, например, для линии, изображенной на рис. 10. 2 (где через $n_1, n_2, \dots$ обозначены коли-

чества громкоговорителей в группах), расчет проводится следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} Z_{aa} &= \frac{Z_{rp}}{n_6} \\ Z_{la} &= Z_0 \cdot l_5 \end{aligned} \right\} Z_{baab} = \frac{Z_{rp}}{n_6} + Z_0 \cdot l_6;$$

$$Z_{bb} = \frac{Z_{rp}}{n_5};$$

$$Z_6 = \frac{Z_{bb} \cdot Z_{baab}}{Z_{bb} + Z_{baab}};$$

$$Z_{la} = Z_0 \cdot l_4;$$

$$Z_{cc} = \frac{Z_{rp}}{n_4};$$

$$Z_4 = \frac{(Z_{la} + Z_6) Z_{cc}}{Z_{la} + Z_6 + Z_{cc}};$$

$$Z_{la} = Z_0 \cdot l_3;$$

$$Z_{dd} = \frac{Z_{rp}}{n_3};$$

$$Z_3 = \frac{Z_{dd} (Z_{la} + Z_4)}{Z_{dd} + Z_{la} + Z_4};$$

$$Z_{la} = Z_0 \cdot l_2;$$

$$Z_{ee} = \frac{Z_{rp}}{n_2};$$

$$Z_2 = \frac{Z_{ee} (Z_{la} + Z_3)}{Z_{ee} + Z_{la} + Z_3};$$

$$Z_{la} = Z_0 \cdot l_1;$$

$$Z_{ff} = \frac{Z_{rp}}{n_1};$$

$$Z_1 = Z_{bx} = \frac{Z_{ff} (Z_{la} + Z_2)}{Z_{ff} + Z_{la} + Z_2}.$$

Сопротивление Z_{bx} и представляет собой конечный результат — полное сопротивление всей нагруженной линии.

6) Затухание передачи отдельных участков подсчитывается по формулам:

$$b_5 = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{baab}}{Z_5};$$

$$b_4 = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{14} + Z_5}{Z_4};$$

$$b_3 = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{13} + Z_4}{Z_3};$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{12} + Z_3}{Z_2};$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{11} + Z_2}{Z_{BX}}.$$

7) Общее затухание передачи всей цепи:

$$B = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5.$$

8) Если обозначим напряжение на зажимах последней абонентской линии через U_{aa} (эту величину можно брать от 20 до 30 в и для длинных магистралей — до 15 в), то мощность, потребляемая последней группой громкоговорителей (P_{aa}), определится как

$$P_{aa} = \frac{U_{aa}^2}{Z_{n6}}.$$

9) Мощность P_{BX} , необходимая в начале линии, находится из формулы:

$$\ln P_{BX} = 2B - \ln P_{aa}.$$

10) Напряжение, получаемое на зажимах первой группы громкоговорителей (в начале линии):

$$U_{BX} = \sqrt{P_{BX} \cdot Z_{BX}}.$$

На этом расчет заканчивается. Если окажется, что напряжение на входе более чем в 2 раза превысит напряжение в конце линии или мощность входа превысит допустимую нагрузку для трансляционного усилителя, то необходимо пересчитать всю линию, взяв для расчета другой тип линии (с меньшим Z_0 по табл. 10.2) или сократив количество громкоговорителей (в особенности вредны большие абонентские группы в конце линии). По величине Z_{BX} определяется по обычным формулам и необходимый коэффициент трансформации выходного трансформатора, питающего рассчитываемую абонентскую магистраль.

Расчет разветвленной абонентской магистрали по существу ничем не отличается от расчета неразветвленной магистрали. Предварительно подсчитываются в отдельности входные сопротивления каждого ответвления, которые затем можно рассматривать как обычные нагрузки, включенные в определенных точках магистрали.

Электрические данные 1 км двухпроводной линии

Частота в гц.	Провод стальной												Провод бронзовый				Провод медный							
	диам. 2 мм				диам. 3 мм				диам. 4 мм				диам. 1,5 мм				сечение 2,5 мм²				сечение 4 мм²			
	R		ωL		ωC		R		ωL		ωC		R		ωL		ωC		R		ωL		ωC	
	в ом	в ом	в ом	мкмо	в ом	в ом	в ом	мкмо	в ом	в ом	в ом	мкмо	в ом	в ом	в ом	мкмо	в ом	в ом	в ом	в ом	в ом	в ом	в ом	в ом
	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо	мкмо
100	86	8	27	39	7,8	2,9	23	7,4	3,1	48	1,8	2,5	14	1,7	2,7	8,8	1,6	5,5						
200	87	15	5,5	42	14	5,5	26	14	6	48	3,7	4,9	14	3,4	5,3	8,8	3,3	8,3						
300	88	22	8	44	21	9	29	19	9	48	5,5	7,4	14	5,1	8	8,8	4,9	8,3						
400	90	29	11	47	27	12	32	24	12	48	7,4	10	14	6,8	11	8,8	6,5	11						
500	92	36	14	49	33	14	35	28	15	48	9,2	13	14	8,5	13	8,8	8,2	14						
600	94	43	16	52	37	17	37	31	19	48	11	15	14	10	16	8,8	10	17						
700	96	49	19	55	40	20	40	34	22	48	13	17	14	12	19	8,8	11	19						
800	99	56	22	58	44	23	42	36	25	48	15	20	14	14	21	8,8	13	22						
1000	104	70	27	64	52	29	46	39	31	48	18	25	14	17	27	8,8	16	28						
2000	137	110	55	86	75	58	62	56	62	48	37	49	14	34	53	8,8	33	55						
3000	162	134	83	103	93	87	75	69	92	48	55	74	14	51	80	8,8	49	83						
4000	182	157	110	118	108	116	85	80	123	48	79	98	14	68	107	8,8	65	110						
5000	202	176	137	131	119	145	95	90	154	48	92	125	14	85	133	8,8	82	138						

При большой трансляционной сети или весьма длинных (сельских) сетях абонентские магистрали должны быть включаемы через понижающие трансформаторы. Первичные обмотки этих трансформаторов включаются при этом в фидера, несущие высокое напряжение (до 200—250 в). Расчет всей фидерной системы достаточно сложен, в особенности при сельских трансляционных сетях большой протяженности. Так как упрощенных готовых формул для быстрого подсчета дать нельзя, то мы отсылаем читателя к упомянутой уже книге инж. Х. М. Виленского «Теория и расчет сетей проводочных вещательных узлов», Связьтехиздат, 1936.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЛИНИЙ

При полном рассмотрении свойств длинной линии в расчет приходится вводить некоторые коэффициенты, обычно относящиеся или к единице длины линии (в этом случае за единицу длины линии приходится брать 1 км длины двухпроводной линии), или к линии условно принимаемой бесконечной длины. Основными параметрами линии являются:

1) *Постоянная R*, т. е. величина сопротивления 1 км двухпроводной линии (2 км провода) для постоянного тока, вычисляется по формуле:

$$R = \frac{2000 \cdot \rho}{S} \text{ ом,}$$

где ρ — удельное сопротивление материала в ом-мм²/м,

S — площадь поперечного сечения в кв. миллиметрах.

Для частот, применяющихся в проводочном вещании (100—5000 гц), сопротивление медных и бронзовых проводов можно считать одинаковым по всему диапазону. Для железных проводов сопротивление линии для частоты в 5000 гц может в 3—5 раз превышать сопротивление той же линии при частоте 100 гц (см. данные R в табл. 10.3). Расчет сопротивления переменному току можно производить по таблице и формулам, приведенным в гл. «Проволока» (стр. 157—160).

2) *Постоянная L* — индуктивность 1 км линии из немагнитных материалов (медь, бронза, алюминий) — может быть определена по формуле

$$L = 920 \lg \frac{h}{d} + 400,$$

где L — индуктивность 1 км линии в микрогенри,

h — расстояние между проводами линии,

d — диаметр провода

(h и d — в любых, но одинаковых единицах).

Для линий из немагнитных материалов индуктивность можно считать независимой от частоты. Для железных линий L довольно сильно зависит от частоты. В табл. 10.3 даны подсчитанные значения индуктивных сопротивлений ωL для разных частот и различных типов линий.

3) *Постоянная C* — емкость между проводами линии, приходящаяся на 1 км длины линии, — определяется по формуле:

$$C = \frac{0,102}{\lg \frac{h}{d} + 0,3},$$

где C — емкость на 1 км линии в микрофарадах,

h — расстояние между проводами,

d — диаметр провода

(h и d — в любых, но одинаковых единицах).

Емкость линии принимается не зависящей от частоты.
 4) Постоянная G — сопротивление утечки тока вследствие несовершенства изоляции. Эта величина расчету не поддается. Для воздушных линий принимается, что сопротивление утечки представляет 1 мк мо (один микромо). Иначе говоря, сопротивление изоляции воздушной линии не должно быть ки, меньше, чем 1 мгом на каждый километр длины. «4»

5) Полное сопротивление линии на 1 км Z_0 определяется из формулы $Z_0 = R + j\omega L$. Готовые значения модуля этой величины и сдвига фазы (в зависимости от типа линии и частоты) приведены в табл. 10. 2.

6) Волновое сопротивление линии Z_c представляет отношение волн напряжения и тока, распространяющихся в направлении падающих или отраженных волн. Для идеальной линии, не имеющей сопротивления и утечки волновое сопротивление определится как

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Для обычных линий волновое сопротивление выражается формулой

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}},$$

или

$$|Z_0| = \sqrt[4]{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^2}}.$$

В этих формулах:

Z_c — волновое сопротивление в омах,

R, G, L и C — в основных единицах: омах, мо, генри, фарадах, определенных на единицу длины линии (1 км).

Волновое сопротивление медных (бронзовых) линий обычно принимается равным 600 ом . Волновые сопротивления железных линий для разных частот приведены в табл. 10. 4 и 10. 5.

7) Постоянная распространения γ представляет натуральный логарифм отношения токов (при установившемся режиме) в двух точках бесконечно длинной линии, отстоящих друг от друга на единицу длины (1 км). При этом числителем в этом выражении будет являться величина силы тока у передающего конца, а знаменателем — величина силы тока у приемного конца.

В зависимости от постоянных линии постоянная распространения линии (γ равномерно распределенными постоянными) определится как

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \beta + j\alpha.$$

Постоянная распространения железных линий в табл. 10. 6 и 10. 7.

8) Действительная часть β этого комплексного выражения называется километренным затуханием;

$$\beta = \gamma \cdot \cos \varphi.$$

В табл. 10. 8 даны величины β для абонентских магистралей.

9) Волновое сопротивление нагруженной абонентской магистрали определяется по формуле:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C + \gamma \eta}},$$

где y — проводимость абонентской точки (табл. 10.9),

n — число абонентских точек на 1 км линии.

Волновые сопротивления для абонентских (железных) магистралей даны в табл. 10.10 и 10.11.

10) Постоянная распространения нагруженной абонентской магистрали определяется из выражения:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C + yn)},$$

где y и n — те же величины, что и в предыдущей формуле для Z_c .

Полная проводимость абонентских магистралей дана в табл. 10.12, постоянная распространения абонентских магистралей — в табл. 10.13 и 10.14.

Таблица 10.4

Волновое сопротивление
железной 2-мм линии

Частота в гц	Волновое сопротивление	
	модуль в ом	угол в °
100	4600	—18
200	3800	—25
300	3300	—38
500	2800	—34
1000	2200	—28
3000	1600	—25
5000	1400	—24

Таблица 10.5

Волновое сопротивление
железной 3-мм линии

Частота в гц	Волновое сопротивление	
	модуль в ом	угол в °
100	3200	—16
200	2700	—21
300	2300	—32
500	2000	—28
1000	1700	—26
3000	1200	—25
5000	1100	—24

Таблица 10.6

Постоянная распространения
железной 2-мм линии

Частота в гц	Постоянная распро- странения	
	модуль	угол в °
100	0,019	24
200	0,023	36
300	0,027	52
500	0,036	56
1000	0,058	66
3000	0,132	65
5000	0,191	66

Таблица 10.7

Постоянная распространения
железной 3-мм линии

Частота в гц	Постоянная распро- странения	
	модуль	угол в °
100	0,013	28
200	0,016	41
300	0,02	58
500	0,03	62
1000	0,05	65
3000	0,11	66
5000	0,16	61

Таблица 10.8

Километрическое затухание β
абонентских магистралей

Частота в гц	Число громкоговори- телей на 1 км		
	20	50	100
100	0,95	0,15	0,22
200	0,15	0,23	0,32
300	0,22	0,36	0,51
500	0,48	0,87	0,66
1000	0,35	0,56	0,71
3000	0,25	0,41	0,58
5000	0,22	0,39	0,56

Таблица 10.9

Проводимость абонентской
точки при различных частотах
для громкоговорителей
«Рекорд», «Заря»

(ограничитель емкостный
2×0,08 мкф)

Частота в гц	Проводимость	
	модуль в мо	угол в °
100	0,000026	87
200	0,000059	81
300	0,00012	70
400	0,00022	46
500	0,00027	— 5
600	0,00020	—35
1000	0,00008	—61
3000	0,000028	—70
5000	0,00002	—68

Таблица 10.10

Волновые сопротивления абонент-
ских магистралей
(железо 2-м.м)

Частота в гц	Число громкоговорителей на 1 км					
	20		50		100	
	модуль в ом	угол в °	модуль в ом	угол в °	модуль в ом	угол в °
100	420	—40	83	—81	180	—40
200	270	—35	172	—35	120	—35
300	200	—27	122	—27	90	—25
500	160	14	84	13	60	14
1000	280	47	180	47	135	47
3000	640	14	390	15	170	15
5000	1000	8	555	12	370	13

Таблица 10.11

Волновые сопротивления абонент-
ских магистралей
(железо 3-м.м)

Частота в гц	Число громкоговорителей на 1 км					
	20		60		100	
	модуль в ом	угол в °	модуль в ом	угол в °	модуль в ом	угол в °
100	280	—38	175	—37	120	—37
200	192	—31	121	—30	90	—30
300	144	—21	90	—22	63	—21
500	120	20	64	20	46	20
1000	226	50	140	50	100	50
3000	530	54	320	55	220	55
5000	820	50	460	54	320	55

Полная проводимость ($\bar{G} + j\omega C + y_l$) абонентских магистралей

Частота в гц	Число громкоговорителей на 1 км					
	20		50		100	
	модуль в мО	угол в °	модуль в мО	угол в °	модуль в мО	угол в °
100	0,0005	86	0,0013	87	0,0026	87
200	0,0012	81	0,0030	80	0,0058	80
300	0,0023	70	0,0060	70	0,0120	70
500	0,0040	— 6	0,0140	— 5	0,0270	— 5
1000	0,0016	—60	0,0040	—60	0,0080	—60
3000	0,0005	—67	0,0013	—68	0,0027	—68
5000	0,0003	—57	0,0009	—65	0,0018	—68

Таблица 10.13

Постоянная распространения для
абонентских магистралей различ-
ной нагрузки
(железная 2-мм линия)

Частота в гц	Число громкоговорителей на 1 км					
	20		50		100	
	модуль	угол в °	модуль	угол в °	модуль	угол в °
100	0,21	35	0,33	46	0,48	46
200	0,33	45	0,52	45	0,71	45
300	0,30	27	0,73	42	1,04	42
500	0,63	8	1,10	8	1,64	8
1000	0,33	—13	0,70	—14	1,00	—13
3000	0,33	—13	0,54	—15	0,80	—15
5000	0,26	— 8	0,48	—12	0,70	—13

Таблица 10.14

Постоянная распространения для
абонентских магистралей различ-
ной нагрузки
(железная 3-мм линия)

Частота в гц	Число громкоговорителей на 1 км					
	20		50		100	
	модуль	угол в °	модуль	угол в °	модуль	угол в °
100	0,14	49	0,23	49	0,33	49
200	0,23	51	0,36	50	0,50	51
300	0,33	48	0,54	48	0,76	48
500	0,48	14	0,9	15	1,20	15
1000	0,36	—11	0,57	—11	0,81	—11
3000	0,26	—13	0,42	—14	0,60	—14
5000	0,22	— 7	0,40	—11	0,57	—13

Таблица 10.15

ДАННЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ¹

Громкоговорители типа «Рекорд»

Завод УСМО, Москва

Образец № 1			Образец № 2		Образец № 3		Образец № 4	
I в эц	Z в ом	$\cos \varphi$	Z в ом	$\cos \varphi$	Z в ом	$\cos \varphi$	Z в ом	$\cos \varphi$
250	8 400	0,463	9 900	0,455	7 600	0,495	7 250	0,45
400	10 350	0,59	12 300	0,735	10 120	0,785	9 950	0,78
500	13 800	0,5	12 900	0,45	17 100	0,28	10 000	0,45
1000	18 800	0,4	22 600	0,435	17 700	0,43	18 500	0,39
3000	—	—	44 600	0,377	36 400	0,356	50 500	0,42
4000	46 000	—	51 000	0,36	—	—	—	—
$U_{\text{номинал}}$	32,5 в		36 в		41,4 в		31,7 в	

¹ По измерениям электроакустической лаборатории НИИС НКС.

Таблица 10.16

Громкоговорители типа «Рекорд» (выпуск 1934 г.)

Завод им. Кулакова			Завод им. Ленина		Завод им. Калининна	
Обр. № 1		Обр. № 2	Обр. № 1	Обр. № 2	Обр. № 1	Обр. № 2
I в эц	Z в ом	Z в ом	Z в ом	Z в ом	Z в ом	Z в ом
100	3 080	4 420	2 600	3 250	4 400	4 350
200	5 800	7 500	4 100	5 340	7 150	7 150
300	8 700	12 020	5 340	7 550	8 500	10 500
800	19 450	25 000	8 000	10 350	14 300	16 300
1500	30 000	47 000	16 600	19 400	27 000	26 600
2000	—	—	27 600	32 400	52 500	58 000
4000	54 000	—	53 500	60 000	64 000	77 000
$U_{\text{номинал}}$	34 в	39 в	28,2 в	32 в	38 в	40 в

Номинальная мощность 0,150 ватт.

Таблица 10.17

Громкоговорители типа «Зорька»

Завод им. Ленина				Радиомастерские в г. Кирове в 1933 г.						Примечание
Обр. № 1		Обр. № 2	Обр. № 3	Обр. № 1			Обр. № 2			
f Гц	Z ом	Z ом	Z ом	f Гц	Z ом	$\cos \varphi$	Z ом	$\cos \varphi$		
100	2 900	2 900	2 700	250	1 870	0,538	1 830	0,497	Катушки соединены в параллель	
200	4 600	4 950	4 300	400	3 020	0,5	2 640	0,48		
300	6 400	5 960	6 540	500	2 650	0,452	2 780	0,532		
500	8 900	7 570	9 100	1000	4 880	0,379	4 860	0,397		
1000	15 500	14 500	15 000	2000	8 160	0,379	7 950	0,361	Номинальн. мощность 0,150 вa	
2000	29 000	27 400	28 000	4000	11 100	0,414	10 300	0,326		
4000	60 000	55 500	57 000	—	—	—	—	—		
$U_{\text{номинал}}$	22 в	21 в	20 в	16,3 в			16,65 в			

Таблица 10.18

Громкоговорители типа «Фрейшвингер» (выпуск 1935 г.)

«Пролетарий» завод им. Ленина			Радиозавод г. Харьков		Примечание
Обр. № 1		Обр. № 2	Обр. № 1	Обр. № 2	
f Гц	Z ом	Z ом	Z ом	Z ом	
150	4 500	5 375	5 000	5 300	Номинальн. мощность 0,5 вa
200	5 600	6 100	5 000	6 400	
250	7 000	6 300	6 200	6 850	
500	—	10 600	8 600	10 600	
1000	23 000	20 000	16 600	17 800	
2000	—	—	31 000	40 000	
$U_{\text{номинал}}$	50 в	50 в	50 в	50 в	

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

ЛАМПОВЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В тексте, таблицах и характеристиках приняты следующие индексы, условные обозначения и единицы измерения

Таблица 11.1

Условное обозначение	Полное название	Единица измерения	Примечание
U_f	Напряжение накала	Вольты	Для подогревных ламп относится к нити подогрева
I_f	Ток накала	Амперы	То же
P_f	Мощность накала	Ватты	$P_f = U_f \cdot I_f$
k	Все обозначения, относящиеся к катоду подогревных ламп	—	—
g	Все обозначения, относящиеся к управляющей сетке	—	Для триода или тетрода
(g)	Обозначения, относящиеся к экранирующей (экранной) сетке	—	Для тетрода
g_1 g_2 g_3 g_4 g_5 g_6	Сетки, обозначаемые номерами в порядке близости их к катоду в подогревных лампах или к нити накала в лампах прямого накала	—	Для триода и тетрода g соответствует g_1 ; для тетрода (g) соответствует g_2
a	Анод или обозначения, относящиеся к аноду	—	—

Условное обозначение	Полное название	Единица измерения	Примечание
μ	Коэффициент усиления	Отвлеченное число	—
ξ	Крутизна характеристики	Миллиамперы на вольт	В общих формулах — амперы на вольт.
R_t	Внутреннее сопротивление	Омы	—
G	Доброкачественность лампы	Милливатты на вольт квадрат	$G = \mu S$
U_B	Напряжение источника высокого (анодного) напряжения	Вольты	—
U_a	Постоянное напряжение на аноде	»	Напряжение между анодом и катодом или отрицательным концом нити накала
U_g	Постоянное напряжение на сетке	»	Для соответствующих сеток U_{g1}, U_{g2}, U_{g3} и т. д.
U_{mg}	Амплитуда переменного напряжения на сетке	»	Дополняется номером рассматриваемой сетки (U_{mg1}, U_{mg4} и т. д.)
I_a	Анодный ток (постоянная слагающая, среднее значение)	Миллиамперы	В общих формулах — амперы.
I_g	Сеточный ток	»	Дополнительно может быть указан номер сетки (I_{g2}, I_{g4} и т. п.)
$I(g)$ или I_{g2}	Ток экранирующей сетки	»	Для пентагрида $I_g 3+5$
I_e	Ток эмиссии	»	—
I_i	Обратный ток сетки	Микроамперы	—
I_k	Катодный ток	Миллиамперы	Ток, проходящий по цепи катода и объединяющий анодный ток и токи всех сеток

Условное обозначение	Полное название	Единица измерения	Примечание
R_k	Катодное сопротивление	Омы	Сопротивление, включаемое у катода для получения автоматического смещения
P_a	Мощность, рассеиваемая анодом	Ватты	—
P_g	Мощность, расходуемая в цепи сетки	»	—
P_k	Отдаваемая полезная мощность	»	—
$P_{\max}$	Максимальная мощность, отдаваемая анодом	»	—
K_f	Клирфактор	Проценты	Коэффициент нелинейных искажений $K_f = 100 \sqrt{\frac{E_{a_2}^2 + E_{a_3}^2 + \dots}{E_a^2}}$
K_{f2}	Клирфактор, учитывающий только вторую гармонику	»	—
K_{f3}	Клирфактор, учитывающий только третью гармонику	»	—
R_k или R_a	Сопротивление нагрузки (анодной цепи)	Омы	При трансформаторе — приведенное сопротивление нагрузки
k	Усиление каскада по напряжению	Отвлеченное число	$k = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$, где $U_{\text{вых}}$ — напряжение на сетке следующего каскада, $U_{\text{вх}}$ — напряжение, подводимое к сетке рассматриваемого каскада

Условное обозначение	Полное название	Единица измерения	Примечание
C_{g-k}	Междуэлектродная емкость сетка-катод	Микромикрофарады	Входная емкость (все прочие электроды соединены с катодом)
C_{a-k}	Междуэлектродная емкость анод-катод	»	Выходная емкость (все прочие электроды соединены с катодом)
C_{g-a}	Междуэлектродная емкость сетка-анод	»	—
$S_{пр}$	Крутизна преобразования	Миллиамперы на вольт	—
$k_{пр}$	Коэффициент преобразования пентагрома	$\frac{мА/в}{в}$	$k_{пр} = \frac{\Delta S_1}{\Delta U_{g1}}$
T	Срок службы лампы	Часы	—

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

Заряд электрона:

$e = 1,592 \cdot 10^{-20} \text{ CGS}_\mu$ (в абсолютных электромагнитных единицах);

$e = 4,770 \cdot 10^{-10} \text{ CGS}_e$ (в абсолютных электростатических единицах);

$e = 1,592 \cdot 10^{-19} \text{ Cul}$ (в кулонах).

Масса электрона, находящегося в покое или движущегося со скоростью, ничтожно малой по сравнению со скоростью света:

$$m_0 = 9 \times 10^{-28} \text{ G}.$$

Масса электрона в общем случае:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

где v — скорость электрона,

c — скорость света.

Практически различие статической и динамических масс сказывается только при скоростях, близких к скорости света. Даже при скорости, равной 0,1 c , динамическая масса отличается от статической всего на 1,5—2%.

Отношение заряда электрона к его массе:

$$\frac{e}{m} = 1,769 \cdot 10^7 \frac{\text{CGS}_\mu}{\text{G}};$$

$$\frac{e}{m} = 1,769 \cdot 10^8 \frac{\text{Cul}}{\text{G}};$$

$$\frac{e}{m} = 5,279 \cdot 10^{17} \frac{\text{CGS}_e}{\text{G}}.$$

Число электронов N , соответствующих току в I ампер, текущему по проводнику в течение t сек., определится как

$$N = 6,3 \cdot 10^{18} \cdot I \cdot t.$$

Электрон, пролетевший в ускоряющем поле расстояние, соответствующее разности потенциалов в U вольт, приобретает скорость движения, равную:

$$v = 600 \sqrt{U} \text{ км/сек.}$$

Ионизирующий потенциал некоторых газов (определяющий в основном величину внутреннего падения напряжения в газовых выпрямителях) приведен в следующей таблице:

Таблица 11.2

Г а з	Ионизирующий потенциал в в	Г а з	Ионизирующий потенциал в в
Натрий	5,12	Водород	15,9
Барий	5,19	Аргон	15,3
Ртуть	10,4	Неон	21,8
Кислород	15,5	Гелий	24,5
Азот	16,9		

Приводим некоторые данные основных катодов:

Таблица 11.3

Тип катода	Рабочая температура (в абс. градусах) + 273 °C	Удельная эмиссия в <i>ма/ет</i>	Срок службы в часах
Вольфрам	2400—2600	2—6	200—1000
Торированный вольфрам	1700—1850	30—50	800—1000
Карбонированный	1900—2000	40—70	500—700
Оксидный катод	900—1100	50—100	1000—1500
Бариевый »	700—900	70—120	1400—1700
Цезированный катод	650—700	250—300	—

Электронная эмиссия с каждого см^2 накаливаемого катода может быть подсчитана по формулам:

$$I = a \sqrt{T} e^{-\frac{b}{T}} \quad (\text{формула Ричардсона}),$$

или

$$I = AT^2 e^{-\frac{b_0}{T}} \quad (\text{формула Дешмана}).$$

В обеих формулах:

I — ток эмиссии в амперах на см^2 накаливаемой поверхности катода,

T — абсолютная температура катода ($T^\circ = t^\circ + 273^\circ \text{C}$),

a, A, b и b_0 — постоянные, зависящие от вещества.

Таблица 11.4

Постоянные электронной эмиссии для простых элементов

Элементы		a	A	b	b_0	Рабочий режим	
						I	T
C	Уголь	$2,37 \cdot 10^6$	5,93	48 700	45 700	$2,84 \cdot 10^{-3}$	2000
Ca	Кальций	$1,74 \cdot 10^4$	0,12	36 500	35 000	—	—
Cs	Цезий	—	162,00	—	21 000	$2,5 \cdot 10^{-11}$	500
Hf	Гафний	—	14,50	—	41 000	$2,8 \cdot 10^{-4}$	1600
Mo	Молибден.	—	60,2	52 600	51 500	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2000
Ni	Никель	$4,61 \cdot 10^6$	26,8	34 000	32 100	—	—
Pt	Платина	—	$1,7 \cdot 10^4$	—	72 500	$9,2 \cdot 10^{-1}$	1600
Ta	Тантал	—	60,2	49 800	47 200	$1,38 \cdot 10^{-2}$	2000
Th	Торий	—	60,2	—	38 900	$4,3 \cdot 10^{-3}$	1600
W	Вольфрам.	$1,05 \cdot 10^7$	60,2	53 000	52 700	$1,0 \cdot 10^{-7}$	2000
Zr	Стронций.	—	330	—	47 900	$8,5 \cdot 10^{-5}$	1600

Соотношение между силой тока в цепи анода и действующим анодным напряжением определяется формулой Лэнгмюра (законом степени $\frac{3}{2}$)

$$I_a = g \cdot U_a^{3/2},$$

где I_a — сила анодного тока в амперах,

U_a — напряжение между анодом и катодом в вольтах,

g — коэффициент, зависящий от формы и размеров электродов и для данной лампы является величиной постоянной.

Этот закон выведен для диода; для триодов и многосеточных ламп за анодное напряжение надо принимать «приведенное» анодное напряжение, учитывающее влияние всех электродов. Например, триод в смысле приведенной величины анодного напряжения надо рассматривать как диод, у которого на аноде (в отсутствии сетки) действует приведенное напряжение:

$$U'_a = U_a + \mu \cdot U_g,$$

или на сетке (без анода) действует приведенное анодное напряжение:

$$U'_a = U_g + \frac{U_a}{\mu}.$$

Обозначения те же, что и в предыдущем случае.

Для цилиндрической конструкции электродов (катода в виде прямолинейной тонкой нити, расположенной по оси цилиндрического анода) сила анодного тока определяется по формуле:

$$I_a = 0,015 \cdot \frac{l}{r_a} E_a^{\frac{3}{2}},$$

где I_a — анодный ток в миллиамперах,

l — рабочая длина нити в сантиметрах, которая при нормальной конструкции электродов и нормальном накале равна длине цилиндрического анода,

r_a — расстояние в сантиметрах от анода до нити, иначе говоря, радиус цилиндрического анода,

E_a — приведенное к общему аноду анодное напряжение в вольтах.

Все эти формулы действительны только для тех случаев, когда катод излучает достаточное количество электронов и действующего анодного напряжения еще недостаточно, чтобы притянуть большинство излученных электронов (иначе говоря, еще не начинается насыщение).

Дальнейшим изменением этой формулы является формула Чайльда:

$$I_a = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{S_a}{r_a^2} \cdot U_a^{\frac{3}{2}},$$

где I_a — анодный ток в амперах,

S_a — действующая поверхность анода в $см^2$,

r_a — расстояние от анода до катода в $см$,

U_a — приведенное анодное напряжение в вольтах.

Практически расчетная кривая анодного тока, вычисленная по приведенным формулам, будет несколько отличаться от реальной характеристики, полученной измерением.

К причинам этих расхождений следует отнести:

1) Влияние начальной скорости вылета электронов. Формула предполагает нулевую начальную скорость вылета электронов ($v_0 = 0$); фактически электроны вылетают с катода с некоторой начальной скоростью что будет увеличивать анодный ток (так как это облегчит притяжение электронов к аноду). Однако это влияние заметно только при малых анодных напряжениях.

2) Магнитное поле тока накала будет отклонять электроны в сторону и благодаря такой задержке уменьшать анодный ток.

3) Неравномерность температуры вдоль нити. Неодинаковая температура вызывается охлаждающим действием концов нити, прикрепленных к ненакаленным держателям, и от неравномерного подогрева отдельных частей нити самим анодным током.

4) При непосредственном накале нити постоянным или переменным током (исключением являются подогревные лампы) создаются различные величины напряжений анода относительно отдельных участков нити.

Приведенные формулы дают характеристики, идущие непрерывно вверх. Фактически эта кривая после некоторого значения анодного тока загибается, так как наступает ток насыщения, величина которого зависит от работы катода (температуры). Различным накалам нити будут соответствовать и различные величины токов насыщения, а равно и соответствующие им величины напряжений, при которых достигаются эти токи насыщения.

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Триод

Основными параметрами трехэлектродной лампы (триода) являются:

μ — коэффициент усиления (отвлеченное число),

S — крутизна (практически выражается в $\frac{\text{миллиампер}}{\text{вольт}}$, встречается и в основных единицах $\frac{\text{ампер}}{\text{вольт}}$),

R_1 — внутреннее сопротивление в омах.

Коэффициент усиления

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \text{ (при } I_a = \text{const)}$$

показывает, во сколько раз изменение напряжения на сетке действует на анодный ток сильнее, чем изменение напряжения на аноде. Практически измерения μ производятся таким образом, что при какой-то заданной силе анодного тока изменяется (желательно на возможно меньшую величину) анодное напряжение и затем изменением сеточного напряжения снова добиваются прежней величины анодного тока.

Коэффициент усиления определяется как частное от деления прироста анодного напряжения (ΔU_a) на изменение (в противоположном направлении) сеточного напряжения (ΔU_g), потребовавшегося для доведения анодного тока до прежней величины.

Во многих случаях (главным образом в немецкой радиолитературе и в вопросах, касающихся передатчиков) вместо коэффициента усиления пользуются обратной величиной — проницаемостью D , показывающей, во сколько раз анод (изменение анодного напряжения ΔU_a) действует слабее, чем изменение напряжения на сетке:

$$D = \frac{1}{\mu} = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \text{ (при } I_a = \text{const)}.$$

Во всех формулах, вместо того чтобы множить на μ , можно делить на D и наоборот. Проницаемость является дробным числом, и поэтому ее часто выражают вместо соответствующей дроби сотыми долями, т. е. попросту в процентах. Например, коэффициенту усиления $\mu = 25$ соответствует проницаемость в $\frac{1}{25} = 0,04$, или 4%.

¹ Всегда следует помнить, что для сохранения неизменной силы анодного тока ($I_a = \text{const}$) увеличение анодного напряжения должно компенсироваться уменьшением напряжения на сетке (увеличением отрицательного смещения). С этой точки зрения правильнее было бы писать:

$$\mu = - \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \text{ (при } I_a = \text{const)},$$

однако ясность вопроса позволяет опускать этот знак минуса.

Вторым основным параметром является крутизна S , показывающая, насколько меняется анодный ток лампы при изменении напряжения на управляющей сетке на 1 в:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad (\text{при } U_a = \text{const}).$$

При точных измерениях желательно возможно ближе подойти к пределу, т. е. измерять соответствующие изменения ΔI_a и ΔU_g при возможно меньших их значениях. Для того чтобы не иметь дела с тысячными долями ампера, крутизна вычисляется практически числом миллиампер, соответствующих изменению сеточного напряжения на 1 в. Для характеристики рациональности конструкции и экономичности катода в усилительных лампах иногда вычисляется удельная крутизна, приходящаяся на 1 вт мощности, потребляемой на накал катода. Между применяемыми материалами и удельной крутизной существует довольно тесная зависимость. Для часто применяемых при изготовлении усилительных ламп материалов можно составить такую таблицу удельной крутизны

$$S' = \frac{S}{P_{\text{накала}}}$$

Вольфрам	0,2—0,4	$\frac{\text{ма/с}}{\text{вт}}$
Торированный вольфрам . . .	2,0—2,5	»
Карбонированный вольфрам .	1,6—1,2	»
Оксидные катоды	1,5—3	»
Бариевые »	4—5	»
Цезиевые »	8—10	»

Третий основной параметр усилительной лампы—внутреннее (дифференциальное) сопротивление R_i . В отличие от сопротивления постоянному току, равного $R_n = \frac{U_a}{I_a}$, внутреннее сопротивление лампы R_i

определяется как сопротивление переменному току $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$. Между этими двумя сопротивлениями лампы весьма большая разница по существу, несмотря на то, что в некоторых участках характеристики оба эти сопротивления по своей величине довольно близко подходят друг к другу.

Между этими тремя основными параметрами существует весьма тесная связь: отношение коэффициента усиления к произведению крутизны на внутреннее сопротивление является для всех типов ламп всегда равным единице:

$$\frac{\mu}{S \cdot R_i} = 1.$$

Это основное ламповое уравнение (формула Баркгаузена) пишется часто в такой форме:

$$S \cdot R_i \cdot D = 1.$$

Зная два из параметров, можно определить третий по производным формулам:

$$\mu = S \cdot R_i;$$

$$R_i = \frac{r_p}{S};$$

$$S = \frac{\mu}{R_i}.$$

Эти формулы справедливы только для того случая, когда внутреннее сопротивление выражается в омах и крутизна в амперах на вольт. В практической обстановке этими формулами можно пользоваться, определяя крутизну S в ma/v и внутреннее сопротивление в тысячах омов.

Тетрод (четырёхэлектродная лампа)

При усилении высокой частоты особенно существенное значение имеет емкость между анодом и сеткой лампы. Большая величина этой емкости может явиться причиной возникновения в приемнике самовозбуждения. В целях уменьшения емкости анод — управляющая сетка покрывается специальными типами ламп, называемых экранированными.

Экранированная четырехэлектродная лампа имеет катод, анод, две сетки, из которых первая сетка (ближайшая к катоду) является обычной управляющей сеткой.

Вторая сетка, ближайшая к аноду, называется экранирующей. На эту сетку во время работы лампы дается постоянное положительное напряжение. Назначение экранирующей сетки — устранение электростатического взаимодействия между анодом и управляющей сеткой.

Для этой же цели экранированные лампы также имеют дополнительный экран, расположенный в нижней части колбы; кроме того, выводы от анода и управляющей сетки чаще всего делаются в разные места баллона (управляющая сетка или анод выводится через верхний цоколь сверху колбы).

Основные параметры тетрода следующие:

1) крутизна характеристики:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_1} \text{ при } U_a = \text{const и } U_{g2} = \text{const};$$

2) коэффициент усиления:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{g1}} \text{ при } U_{g2} = \text{const и } I_a = \text{const};$$

(или обратная величина: проницаемость сетки)

$$D = \frac{\Delta U_{g1}}{\Delta U_a} \text{ при } U_{g2} = \text{const и } I_a = \text{const};$$

3) внутреннее сопротивление:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ при } U_{g1} = \text{const и } U_{g2} = \text{const}.$$

Экранированные лампы отличаются от триодов тем, что они имеют большой коэффициент усиления, очень малую емкость анод-управляющая сетка и очень большое внутреннее сопротивление.

Пентод (трехсеточная лампа)

Трехсеточная лампа имеет 5 электродов: катод, анод и три сетки. Первая сетка, ближайшая к катоду (рис. 11.1), является управляющей сеткой.

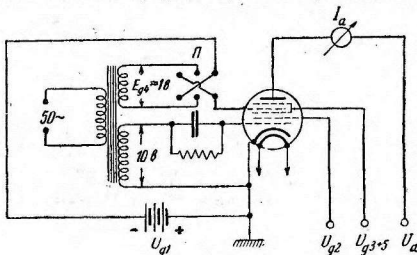


Рис. 11. 1.

Вторая сетка — экранирующая; на нее при работе лампы дается постоянное положительное напряжение. Третья сетка, ближайшая к аноду, обычно соединяется внутри самой лампы со средней точкой катода (или любой точкой катода, если катод подогревный). Третья сетка предназначена уничтожить динатронный эффект в цепи анода и называется защитной или противодинатронной (антидинатронной).

Следует иметь в виду, что практически пентодами называются только те трехсеточные лампы, у которых защитная сетка внутри самой колбы соединена с катодом. В настоящее время часто выпускаются трехсеточные лампы, имеющие самостоятельный вывод для третьей защитной сетки. Являясь формально (по стандарту) пентодами, эти лампы могут иметь другие характеристики, поэтому их принято называть трехсеточными лампами, а не пентодами.

Пентагрид (семиэлектродная лампа)

Пентагрид представляет собой семиэлектродную лампу, имеющую: катод, анод и 5 сеток. Первая (ближайшая к катоду) сетка является управляющей сеткой триодной части. Вторая сетка — анодом триодной части пентагрида. Обычно катод, первая и вторая сетки образуют генераторную лампу (триод) в супергетеродинных приемниках.

Основные параметры триодной части пентагрида следующие:

1) крутизна характеристики:

$$S_1 = \frac{\Delta I_{g2}}{\Delta U_{g1}}$$

при $U_a = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$, $U_{g3+5} = \text{const}$, $U_{g4} = \text{const}$;

2) коэффициент усиления:

$$\mu_1 = \frac{\Delta U_{g2}}{\Delta U_{g1}}$$

при $U_a = \text{const}$, $I_{g2} = \text{const}$, $U_{g3+5} = \text{const}$, $U_{g4} = \text{const}$;

3) внутреннее сопротивление:

$$R_{I_1} = \frac{\Delta U_{g2}}{\Delta I_{g2}}$$

при $U_a = \text{const}$, $U_{g1} = \text{const}$, $U_{g3+5} = \text{const}$, $U_{g4} = \text{const}$.

Третья сетка в самой лампе соединяется с пятой сеткой и является экранирующей сеткой, уменьшающей емкость между второй и четвертой сетками.

Четвертая и пятая сетки и анод представляют собой тетродную часть лампы, причем четвертая сетка является управляющей, а пятая — экранирующей; она уменьшает емкость между четвертой сеткой и анодом.

Основные параметры тетродной части пентагрида следующие:

1) крутизна характеристики:

$$S_4 = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{g4}}$$

при $U_a = \text{const}$, $U_{g1} = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$, $U_{g3+5} = \text{const}$;

2) коэффициент усиления:

$$\mu_4 = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{g4}}$$

при $I_a = \text{const}$, $U_{g1} = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$, $U_{g3+5} = \text{const}$

3) внутреннее сопротивление:

$$R_{I_4} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

при $U_{g1} = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$, $U_{g3+5} = \text{const}$ и $U_{g4} = \text{const}$.

Для характеристики качеств пентагрида основным коэффициентом является коэффициент преобразования $k_{пр}$, показывающий зависимость изменения крутизны анодного тока от изменения величины напряжения на управляющей сетке:

$$k_{пр} = \frac{\Delta S_4}{\Delta U_{g1}} \left(\frac{ma'_{\phi}}{\phi} \right).$$

Чаще, однако, пользуются другим коэффициентом, характеризующим работу пентагрида при преобразовании частот — крутизной преобразования. Измерение этого коэффициента достаточно просто производится при технической частоте в 50 гц.

В этом случае на сетку гетеродинной части через соответственно подобранный гридлик подается напряжение технической частоты в 50 гц (рис. 11. 1) с амплитудой порядка 10 в. Напряжение той же частоты с амплитудой порядка 1 в подается одновременно на управляющую сетку и при этом измеряется анодный ток лампы (постоянная слагающая его). Затем с помощью переключателя *П* меняется фаза напряжения на управляющей сетке и снова отменяется величина анодного тока.

Разница между двумя отсчетами анодного тока, выраженными в миллиамперах, будучи разделена на удвоенную амплитуду напряжения, подведенного к управляющей сетке, даст значение крутизны преобразования пентагрида для данного режима и для данной амплитуды собственных колебаний гетеродина:

$$S_{\text{пр}} = \frac{I_a' - I_a''}{2E_{g4}}.$$

Для нормальной работы пентагрида необходимо, чтобы триодная гетеродинная часть хорошо возбуждалась на всем диапазоне принимаемых частот; в современном всеволновом приемнике это соответствует диапазону примерно от 15 до 2000 м. Для этого главным условием является удовлетворительная крутизна характеристики триодной части, которая должна быть не менее 1 ма/в.

Доброкачественность

Очень важным фактором в расчете ламповой схемы является еще один производный параметр — произведение крутизны лампы на коэффициент усиления

$$\mu S = G.$$

Этот параметр *G* называется добротностью лампы, так как его величина в значительной степени является показателем качества лампы (усиление, получаемое в каскаде при максимально возможном использовании всех параметров лампы, обычно пропорционально $\sqrt{G}$). Этот коэффициент доброкачественности через другие параметры может быть определен как

$$G = \mu S = S^2 R_i = \frac{\mu^2}{R_i}.$$

В соответствии с тем, что в ламповой практике крутизна выражается в ма/в, доброкачественность приводят в таблицах в милливаттах на вольт квадрат. Доброкачественность показывает, какая мощность слагающей переменного тока циркулирует во всей анодной цепи при наличии в цепи сетки переменного напряжения в 1 в. Этот параметр весьма удобен для сравнительной характеристики ряда ламп.

Общей оценкой качества лампы и рациональности ее конструкции является поэтому удельная доброкачественность, т. е. величина доброкачественности, приходящаяся на каждый ватт мощности, расходуемой во всех цепях лампы (цепи накала, анода и экранирующих сеток в экранированных лампах и пентодах). Эта удельная доброкачественность для некоторых типов ламп будет иметь примерно следующие значения:

П-7 (Р-5) около . . .	1,1	ватт/в ² /вт	УБ-107	20	ватт/в ² /вт
ПТ-2 (микро)	10	»	СО-112	60	»
УТ-40	10	»	СО-124	220	»

Удельная доброкачественность новой серии ламп повышается до 1000 и более. Например:

для лампы типа	CO-187	$G' = 600 \text{ мвт/в}^2/\text{вт}$
» » »	СК7	$G' = 700 \text{ »}$
» » »	CO-182	$G' = 1500 \text{ »}$

Из новейших ламп можно указать на американский тип усилительной лампы 1851 (для которой $S=9$ и $\mu=6750$), имеющей удельную доброкачественность $G' = 22500 \text{ мвт/в}^2/\text{вт}$.

Однако надо помнить, что пригодность лампы для того или иного каскада приемника решается не только общей или удельной доброкачественностью. Помимо параметров и доброкачественности весьма важное значение имеют величины постоянной слагающей в цепях всех электродов и допустимого размаха колебаний переменного тока, иначе говоря, величина прямолинейного участка характеристики, внутризлектродные емкости и пр.

Сеточные и анодные характеристики

Полная характеристика лампы должна представлять таблицу, включающую довольно много отдельных данных. Вместо этих таблиц часто пользуются наглядным графическим «паспортом» лампы, состоящим из двух или нескольких характеристик, соответствующих токам или напряжениям рабочего режима.

Основными типами ламповых характеристик надо считать две группы: сеточные и анодные характеристики. Чаше встречающаяся, но во многих случаях менее удобная группа дает зависимость анодного тока от сеточного напряжения:

$$I_a = F(U_g).$$

На рис. 11. 2 дано «семейство» таких сеточных характеристик лампы ПБ-108 для трех различных анодных напряжений 40, 60 и 80 в. Рассмотрим свойства характеристики этого типа.

Из одной характеристики подобного типа можно определить крутизну S , вычислив сразу, какой прирост анодного тока получается при изменении сеточного напряжения на 1 в. Так как для выполнения условия $I_a = \text{const}$ трудно делать вычисления, отсчитывая очень малые значения, как 1 в, то на данной характеристике строится треугольник большего масштаба, по возможности, дающий в круглых числах одно из значений (ΔI_a или ΔU_g). Например, выбранный на чертеже рис. 11. 2 треугольник abc делает ΔU_g равным 2 в (изменение от 0 до 2 в). Изменение анодного тока в данном случае около 0,85 ма, что и дает крутизну $\frac{0,85}{2} = 0,43 \text{ ма/в}$. Очень удобно отсекав от осей координат большой треугольник при помощи прямой линии, касательной к характеристике данного типа в той точке, для которой определяется величина крутизны. На рис. 11. 2 прямая линия a — A (касательная к участку характеристики от 4 в до 0) отсекает (считая от нулевой точки) напряжение в 8 в и ток в 3,5 ма. Это дает значение:

$$S = \frac{3,5}{8} \approx 0,44 \text{ ма/в}.$$

Коэффициент усиления находится по двум соседним характеристикам, для чего в исследуемом участке проводится горизонтальная секущая линия ($m-m$) и из точек пересечения этой линии с обеими характеристиками и опре-

деляется коэффициент усиления как частное от деления прироста анодного напряжения на изменение сеточного напряжения, скомпенсировавшего его (вдоль горизонтальной линии величина анодного тока не меняется).

На рассматриваемом чертеже линия $m-m$ пересекает характеристики при $U_a = 80$ и 60 в, следовательно:

$$\Delta U_a = 80 - 60 = 20 \text{ в.}$$

Точки пересечения линии $m-m$ с обеими характеристиками соответствуют сеточным напряжениям в 3 и 0 в.

$$\Delta U_g = 0 - (-3) = 3 \text{ в.}$$

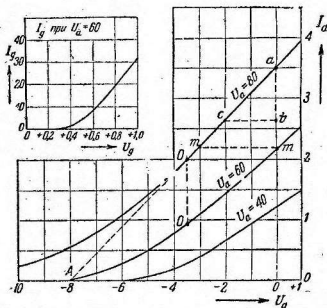


Рис. 11. 2. Система сеточных характеристик (лампа ПБ-108).

Коэффициент усиления μ для данного участка характеристик (точнее было бы сказать, для средней его части, или, иначе говоря, для не помещенной на чертеже характеристики при $U_a = 70$ в) определяется:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \text{ (при } I_a = \text{const} \approx 2,2 \text{ ма)} = \frac{20}{3} \approx 6,7.$$

Внутреннее сопротивление находится при помощи вертикальной секущей линии. Например, проведя линию $0-0$ (рис. 11. 2) можно подсчитать, что приращению анодного напряжения $\Delta U_a = 80 - 60 = 20$ в, соответствует приращение анодного тока $\Delta I_a = 1,1$ ма. Внутреннее сопротивление для выбранного участка характеристик $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \approx 16\,000 \text{ ом}$.

Чем ближе взяты соседние характеристики и чем точнее произведены измерения и выполнен чертёж (насколько точно, можно произвести отсчеты), тем точнее будет определен и вычисляемый параметр. Коэффициент усиления обычно вычисляется не точнее, чем до второй значащей цифры.

Во всех основных случаях расчета усилительной аппаратуры и в особенности при расчете выходного каскада удобнее пользоваться характеристиками, представляющими зависимость анодного тока от анодного напряжения. Этот тип характеристик сразу же дает наглядное представление о допустимых раскахках напряжений, предельном нагреве анодов, уровне вторичной эмиссии, возможных перенапряжениях, допускает быстрый подсчет отдаваемой мощности и максимальной отдачи.

Рассмотрим пользование анодными характеристиками. На рис. 11.3 дано «семейство» анодных характеристик распространенной оконечной лампы УО-104. Кривые снимаются обычно для ряда сеточных напряжений, начиная от $U_g = 0$ (предельное допустимое напряжение на сетке для обычных усилителей, работающих вне сеточных токов) и затем через несколько (1—5—10 в в зависимости от мощности лампы и предъявляемых требований) вольт до крайнего отрицательного напряжения на сетке, которое возможно при работе усилителя. В данном случае характеристики вычерчены через каждые 10 в сеточного напряжения.

Далее проводятся две ограничительные линии: линия $P-N$, представляющая собой предел, до которого может быть (хотя бы и мгновенно) допущено анодное напряжение. Вторая ограничивающая линия вычерчивается на основе допустимого максимального рассеяния на аноде. Для лампы УО-104 эта мощность обычно определяется в 12 вт. По формуле мощности ($P = I \cdot U$) находят точки, соответствующие различным напряжениям, и по отдельным точкам вычерчивается гипербола, представляющая собой границу допустимых мощностей рассеяния.

Таким образом полный рабочий участок усилительной лампы очерчивается четырьмя линиями: характеристикой I_a в зависимости от U_a при $U_g = 0$, линией максимального рассеяния на аноде, линией максимального допустимого напряжения и линией минимального анодного тока $N-N$ (рис. 11.3), ниже которого изменения анодного тока, несмотря на соответствующий минус на сетку, очень медленно подходят к нулю из-за конструктивных несовершенств лампы. Этот минимальный анодный ток бывает от долей миллиампер до нескольких миллиампер в зависимости от формы и размеров электродов и определяется обычно теми точками, где кривые начинают «ложиться». Величина минимального тока определяет собой величину вносимых искажений, о чем сказано на стр. 519. Через выбранную рабочую точку O проводится рабочая линия AOB под таким наклоном, который отсекает на осях координат значения тока и напряжения, соответствующие сопротивлению нагрузки лампы (на данном чертеже линия AOB при про-

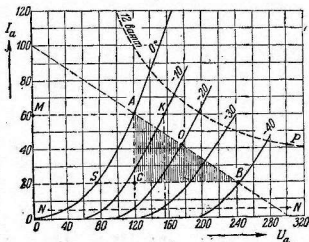


Рис. 11.3. Система анодных характеристик (лампа УО-104).

должны пересекать оси координат в точках, соответствующих 300 в и 100 мА, что и дает значение сопротивления для данной линии AOB в $\frac{300}{0,1} = 3000 \text{ ом}$.

Величина рабочего участка определяется размахом колебаний сеточных напряжений. На рис. 11.3 рабочей точкой взято напряжение — 20 в. Колебания допущены между $U_g = 0$ и $U_g = 40$ в. Четвертая часть площади треугольника ABC , ограниченного линией сопротивлений и линиями, параллельными осям координат и проведенными через точки A и B (точки, соответствующие максимальным и минимальным напряжениям на сетку или анодным токам), представляет собой отдаваемую лампой во внешнюю цепь мощность. Максимум отдаваемой мощности можно подобрать по графику, пробуя вписать максимальную площадь прямоугольный треугольник, помещающийся в пределах указанной выше площади рабочего режима. Рабочий треугольник ABC сразу дает значения среднего, максимального и минимального анодных токов, по которым легко находятся и отдаваемая мощность и величина вносимых усилителем искажений (см. стр. 519).

Параметры лампы по анодным характеристикам находятся следующим порядком.

Наклон характеристик дает обратную величину внутреннего сопротивления лампы. Таким образом весьма важная при работе усилительных (главным образом оконечных) ламп величина — внутреннее сопротивление — находится по анодной характеристике таким же порядком, как определяется крутизна по характеристике сеточной зависимости.

Коэффициент усиления лампы определяется пересечением горизонтальной линией двух соседних характеристик. Коэффициент усиления находится делением величины изменения анодных напряжений, соответствующую выбранным точкам пересечения, на разность сеточных напряжений, для которых вычерчены эти соседние характеристики.

Крутизна лампы находится при пересечении двух соседних характеристик вертикальной линией (соответствующей неизменному анодному напряжению). Деление изменения сеточных напряжений на изменения анодных токов, соответствующих точкам пересечения, дает величину крутизны лампы.

Пример. Линия AK соответствует изменению анодного напряжения в $155 - 120 = 35$ в и пересекает характеристики, соответствующие $U_g = 0$ и $U_g = -10$ в. Коэффициент усиления лампы (средний для рассматриваемого участка) определится как $\frac{35}{10} = 3,5$.

Внутреннее сопротивление лампы для характеристики при $U_g = 0$ можно определить по треугольнику SAC :

$$\frac{120 - 75}{0,060 - 0,020} = \frac{45}{0,040} = 1120 \text{ ом.}$$

Крутизну лампы можно определить, положим, из участка вертикальной линии AC :

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{0,060 - 0,020}{0 - (-13)} \approx \text{около } 3 \text{ мА/в.}$$

Кроме перечисленного, данный тип характеристик $I_a = f(U_a)$ может ответить еще на ряд вопросов. Неравномерный ход характеристики может указать на наличие при заданных напряжениях эффекта вторичной эмиссии. Этим

приходится очень часто заниматься при рассмотрении характеристик экранированных ламп и пентода, где значение «провалов» в характеристике является чрезвычайно важным.

При большой индуктивной нагрузке лампы в последней, особенно в пентодах низкой частоты, легко могут получаться опасные для нее перенапряжения. Примерную величину этого перенапряжения можно определить, продолжая вправо прямую, соответствующую сопротивлению этой нагрузки.

По изменяющейся густоте следования анодных характеристик можно определить и примерные границы неискажаемой отдачи. Для этого вдоль рабочей линии *AOB* прикладывают линейку с миллиметровыми делениями и отсчитывают количество миллиметров по обе стороны от основной рабочей точки *O* до равностоящих по сеточному напряжению характеристик. До тех размахов сеточного напряжения, при которых расстояния между точкой *O* и соответствующими характеристиками не будут отличаться друг от друга более чем на 10%, отдачу можно считать как имеющую искажения, не превышающие допустимые 5%. Этим способом особенно удобно пользоваться, если вычертить линейку со средней точкой и с величиной делений по обе стороны, отличающихся друг от друга в отношении 9 : 10. Подсчет величины отдаваемой мощности и величин вносимых искажений дан на стр. 518.

Зависимость параметров от режима

Приводимые в таблицах и характеристиках параметры являются только ориентировочными, некоторыми средними для данного типа ламп. Отдельные экземпляры ламп могут иметь параметры, весьма сильно отличающиеся от средних, что вызывается неодинаковой длиной и эмиссионной способностью нити накала и неодинаковыми размерами и расположением прочих электродов. Однако и для одного и того же экземпляра параметры могут меняться в зависимости от действующих напряжений на аноде и сетках. Для триодов эта зависимость сравнительно проста. При увеличении минуса на управляющей сетке очень быстро уменьшается крутизна и соответственно увеличивается внутреннее сопротивление лампы. Коэффициент усиления остается почти неизменным. Характер изменения этих параметров для одного типа универсальной лампы показан на графике рис. 11. 4.

Для экранированных ламп с увеличением минуса на управляющей сетке параметры изменяются примерно таким же образом, но большее значение в практике имеет характер изменения параметров при изменении напряжения на экранирующей сетке. При уменьшении напряжения на экранирующей сетке уменьшается крутизна и увеличиваются коэффициент усиления и внутреннее сопротивление. Стандартным является обычно напряжение на экранирующей сетке, равное от $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{3}$ анодного напряжения. О количественной стороне зависимости параметров от напряжения на экранирующей сетке можно судить по приводимым на рис. 11. 5 графикам зависимостей μ , S , R и G для одного экземпляра лампы типа CO-124, имевшей на аноде 200 в. Напряжение на экранирующей сетке менялось в пределах

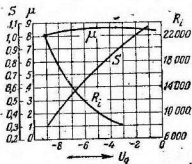


Рис. 11. 4.

20—80 в. Как видно из графиков, обычную экранированную лампу с нормальным коэффициентом усиления в 200 — 300 нетрудно превратить в лампу с тысячным коэффициентом усиления;

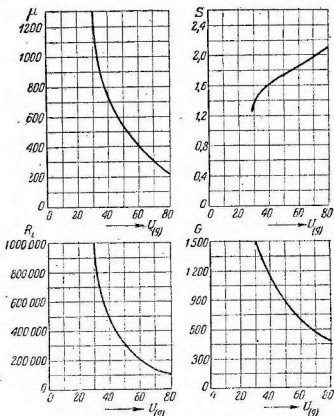


Рис. 11. 5. Кривые зависимости параметров экранированной лампы от напряжения на экранирующей сетке (для лампы CO-124 при $U_a = 200$ в).

Пентагрид СО - 183

Четырехвольтовый подогревный пентагрид типа СО-183 специально предназначен для работы в супергетеродинных приемниках в качестве смесителя частот.

Первая и вторая сетки в пентагриде являются управляющей сеткой и анодом трехэлектродной лампы-гетеродина.

Четвертая сетка является управляющей сеткой детекторного тетрода; на эту сетку подается напряжение принимаемого сигнала.

Третья и пятая сетки, соединенные вместе, являются экранирующими. Наличие третьей сетки уменьшает емкость между второй и четвертой сетками.

Пятая сетка, как и в обычном тетроде, уменьшает емкость между анодом и управляющей сеткой четвертой.

На рис. 11. 71—11. 74 изображены характеристики лампы типа СО-183. Пентагрид типа СО-183 принадлежит к лампам варимю. Поэтому отрицательное смещение на четвертой сетке может изменяться в пределах от—1 до —15 в, причем крутизна характеристики уменьшается в среднем от 2,5 ма/в (при $U_{g4} = -3$) до 0,05 ма/в (при $U_{g4} = -15$ в), т. е. в 50 раз. Крутизна преобразования около 0,2—0,25 ма/в.

Типичная схема включения пентагрида показана на рис. 11. 75.

Сигналы подводятся к контуру $L_1 C_1$, который настраивается на частоту приходящих сигналов. За счет падения напряжения в сопротивлении R_1 при прохождении через него катодного тока на управляющую сетку подается отрицательное смещение, ставящее лампу в режим анодного детектирования. Для пропуска переменной слагающей анодного тока сопротивление R_1 блокируется конденсатором C_5 . Напряжение на экранирующую сетку снимается с потенциометра, составленного из двух сопротивлений R_2 и R_3 . Переменная слагающая тока экранирующей сетки отводится в катод через конденсатор C_7 .

Контур гетеродина, состоящий из катушки L_2 и переменного конденсатора C_2 , включен в цепь сетки триода. Конденсатор C_3 и сопротивление R_5 составляют гридлик. Обратная связь задается катушкой L_3 , включенной в цепь анода триода (сетки второй). После катушки обратной связи переменная слагающая отводится в катод через конденсатор C_6 . Сопротивление R_4 служит для понижения напряжения на аноде триода, а такое вместе с конденсатором C_6 является развязывающей цепью.

В цепь анода пентагрида включен контур $L_4 C_4$, настроенный на промежуточную частоту, которая чаще всего выбирается, около 100—130 кГц или 450—470 кГц. Этот контур связывается тем или иным способом с контуром, находящимся в цепи лампы, усиливающей промежуточную частоту.

Величины деталей в схеме рис. 11. 75 должны быть примерно следующие: $R_1 = 150$ ом, $R_2 = 60\,000$ ом, $R_3 = 30\,000$ ом, $R_4 = 20\,000$ ом, $R_5 = 1$ мегом; $C_3 = 60$ см, $C_5 = 10\,000$ см, $C_6 = 10\,000$ см и больше; $C_7 = 0,5$ мкф.

Обозначения электронных ламп по номенклатуре завода «Светлана»

Большинство ламп, производимых в настоящее время нашими заводами электровакуумных приборов, обозначается двумя буквами и цифрой.

Первая буква указывает назначение лампы. Используются следующие буквы:

- П — приемная, в некоторых лампах может указывать и на предварительное усиление (ПТ-19),
- У — усилительная,
- Т — трансляционная,
- Г — генераторная,
- Ж — маломощная генераторная (старое название),
- М — модуляторная,
- Б — мощная генераторная (старое название), баррестер,
- К — кенотрон (старое название),
- В — выпрямительная,
- С — специальная (в эту группу, к сожалению, пока без всяких дальнейших подразделений включены экранированные лампы, пентоды, лампы для усиления напряжения и прочие специального назначения лампы).

Вторая буква обозначает материал, характеризующий катод, а следовательно, и эмиссионную способность лампы:

Т — торированный (катод),
 О — оксидированный,
 К — карбонированный,
 Б — бариевый.

Цифры для ламп выпуска последних лет обычно обозначают просто порядковый номер разработки лампы на заводе. В мощных генераторных лампах цифра (при букве Г), умноженная на 10, соответствует примерной мощности в ваттах: Г-5 — 50-ваттная генераторная, Г-2000 — 20-киловаттная и т. п.).

В 1938/39 г. советскими радиоламповыми заводами выпущены некоторые типы американских ламп, за которыми оставлены их названия в американской системе обозначения (с заменой букв латинского алфавита на русские).

В этой системе первая цифра маркировки обозначает напряжение накала.

1	указывает напряжение накала в	2 в или ниже
2	»	» 2,5 в,
5	»	» 5 в,
6	»	» 6,3 в,
12	»	» 12,6 в,
25	»	» 25 в.

Последняя цифра маркировки указывает на число выводов (электродов) лампы, причем нить накала считается за 1 электрод; катод подогревных ламп и металлическая колба металлической серии ламп также учитываются как отдельные электроды. Буквы в середине маркировки указывают на порядковый номер разработки (тип) среди серии, имеющей то же напряжение накала и то же число электродов. При этом усилительные лампы обозначаются буквами от начала алфавита (А, В, С...), а выпрямительные лампы (кенотроны) отмечаются последними буквами алфавита (Z, Y, X, W, U...).

П р и м е р ы.

- 5Z3 — двуханодный кенотрон с накалом 5 в;
 5Z4 и 5W4 — двуханодные кенотроны с металлической колбой; напряжение накала 5 в, кенотрон 5W4 более поздней разработки;
 6С5 и 6F5 — усилительные подогревные триоды металлической серии с напряжением накала 6,3 в; триод 6С5 более ранней разработки, чем 6F5;
 25L6 — металлическая 6-электродная лампа с напряжением накала 25 в;
 1А4 — батарейный пентод, не имеющий отдельного вывода для защитной сетки, напряжение накала 2 в.

Обозначение модуляторных ламп по ГОСТ 7262

Условное обозначение типа (марки) составляется из нескольких букв и одного числа, имеющих следующее значение:

первая буква М обозначает основное назначение лампы как мощного усилителя или модулятора;

вторая буква О вводится для ламп с конвекционным (обычно циркуляцией воды через специальную рубашку) охлаждением;

число, входящее в состав марки, равняется допустимой продолжительной мощности, рассеиваемой на аноде, выраженной в ваттах для ламп с лучи-

стым (воздушным) охлаждением и в киловаттах — для ламп с конвекционным (водяным) охлаждением;

конечная значащая цифра этого числа обозначает модель лампы.

Обозначение выпрямительных ламп по ОСТ 7261

Условное обозначение типа (марки) лампы составляется из нескольких чисел и буквы, имеющих следующее значение:

цифра, стоящая до буквы, обозначает количество анодов;

первая буква В указывает основное назначение лампы как выпрямителя переменного тока;

для ламп с амплитудой обратного зажигания более 1000 в за буквой ставится число, равное амплитуде обратного зажигания в киловольтах;

число, стоящее после черточки, указывает величину амплитуды анодного тока в миллиамперах; последняя значащая цифра этого числа выражает модель марки.

Пример. В-27-800 указывает на одноанодный (нет числа перед буквой В) тип электронной выпрямительной лампы с амплитудой обратного зажигания в 27 кВ и с амплитудой анодного тока в 800 мА.

Обозначение газотронов по номенклатуре завода «Светлана»

Газотроны, выпускаемые заводом «Светлана», обозначаются буквами ВГ (Выпрямитель газотронный) с цифрой, указывающей порядковый номер заводской разработки. Никакие параметры газотронов маркировкой не обозначены.

В этикетках и таблицах газотроны обычно обозначаются максимально допустимой «пикой» выпрямленного тока. Ввиду чрезвычайной опасности для газотрона превышения этой «пиковой» силы тока даже на короткий промежуток времени максимально допустимым значением выпрямленного тока считается $\frac{1}{3}$ от «пикового» значения. Это значение получается обычно при фильтре, начинающемся с дросселя, предохраняющего газотрон от мгновенных перегрузок.

Обозначение ртутных выпрямительных колб по номенклатуре завода «Светлана»

Обозначение колб ртутных выпрямителей состоит из букв и цифр.

Буква В обозначает выпрямительную колбу. Стоящая перед ней цифра указывает на число рабочих анодов колбы.

Если после буквы В стоит также буква Н, то она указывает на наличие в колбе анодов независимого возбуждения.

Следующая за буквами цифра обозначает максимальную допустимую силу выпрямленного тока в амперах.

Для высоковольтных колб после цифры, обозначающей силу выпрямленного тока, добавляется еще цифра, указывающая величину предельного рабочего выпрямленного напряжения в вольтах.

Примеры. 2-В-20 — колба ртутного выпрямителя с двумя рабочими анодами на 20 А выпрямленного тока; 3-ВН-6-8000 обозначает колбу ртутного выпрямителя с тремя рабочими анодами и с независимым возбуждением на 6 А выпрямленного тока при предельном напряжении в 8000 В.

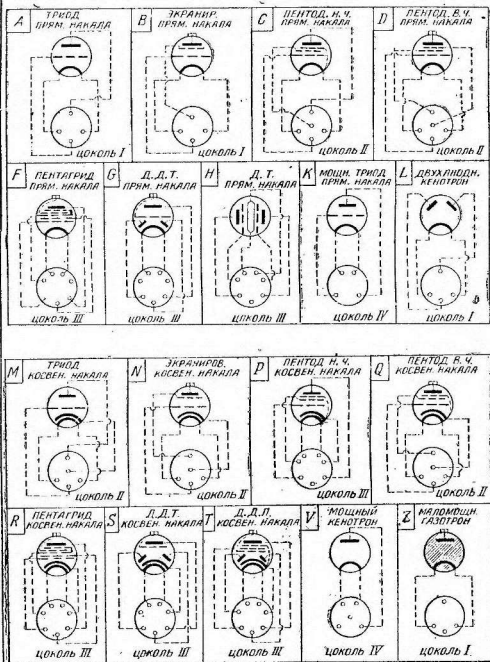


Рис. 11. 6. Схемы включения электродов к ножкам цоколей.

Цоколевка стандартных приемных ламп

Цоколевка (см. рис. 11.6)	A	B	C	K	M	N	Q	R	S	T
Типы ламп	ПТ-2	СО-44	СБ-155	УБ-180	СО-118	СО-124	СО-122	СО-183	СО-185	СО-193
	(ЭТ-1)	СБ-112			ПО-119	СО-148	СО-182	СО-187		
	П-7									
	(Р-5)	СБ-147								
	УК-30									
	УО-104	СБ-154								
	УБ-107									
	ПБ-108									
	УБ-110									
	УБ-132									
	УБ-152									
	УБ-178									
	УО-186									

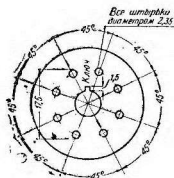


Рис. 11. 7. Расположение ножек октального цоколя (для металлической и стеклянной серий).

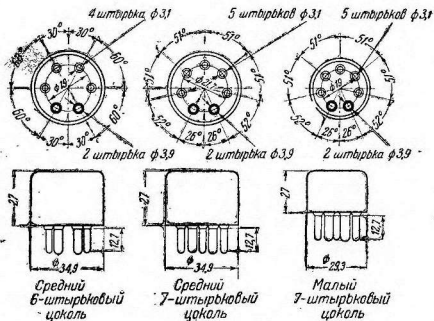


Рис. 11. 8. Цоколевка американских стеклянных ламп.

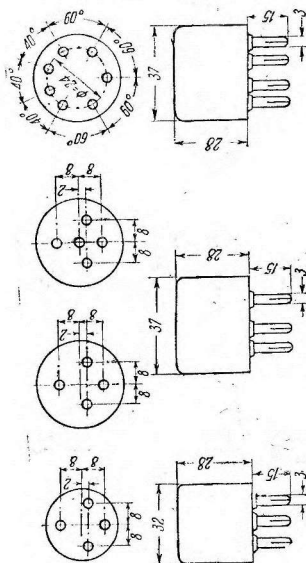


Рис. 11. 9. Цоколевка стандартных стеклянных ламп.

НОВЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ ЛАМПЫ

Для батарейных приемников в самое последнее время (начало 1939 г.) нашими радиоламповыми заводами выпущена комплектная серия «экономических» малогабаритных ламп.

Серия включает 6 типов, имеющих следующие (предварительные) данные:

Таблица 11.6

Габарит		Триод УБ-240	Пентод высокой частоты СБ-241	Пентагрид СБ-242	Двойной триод СО-243	Пентод низкой частоты СБ-244	Тетрод гетеродина СБ-245
		высота	78	78	77	68	80
Габарит		диаметр	25	27	27	27	27
U_f		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8
I_f		0,120	0,125	0,160	0,240	0,185	0,320
P_f		0,24	0,25	0,32	0,48	0,37	0,58
U_a		120	120	120	120	120	160
U_{g1}		-1,0	-0,5	0	0	-2,5	-1,5
U_{g2}		—	70	120	—	120	80
U_{g3+4}		—	0	70	—	—	—
U_{g4}		—	—	-1,0	—	—	—
S		1,6	1,2	$S_4 = 1,0$ $S_{np} = 0,4$	1,8	1,75	2,2
μ		24	1200	250	28	325	450
R_i		15 000	1 000 000	$R_{i4} = 250 000$	при $U_{g1} = 12$		
I_a		3,4	4,4	4,3	16 000	18 500	200 000
					2,2	3,9	10,0
I_{g2}		—	1,2	3,5	—	0,7	2,6
Входная емкость							
C_{g1-k}		1,7	2,8	5,4	—	5,7	8,6
Выходная емкость							
C_{a-k}		2,1	3,7	7,3	—	6,8	8,8
C_{g1-a}		2,0	0,007	$C_{g4-a} = 0,17$	—	0,9	0,03
Ток управляющей сетки в рабочей точке характеристики I_{g1}		< 0,5	< 0,5	< 0,5	2700	< 0,5	< 0,5
					при $U_{g1} = +12$		

ЖОЛУДИ

Для непосредственного усиления в диапазоне ультракоротких и дециметровых волн американскими заводами сконструированы специальные миниатюрные лампы, называемые «жолудями». Внешний вид и внутренняя конструкция этих жолудей показаны на рис. 11.10. Аналогичные лампы выпускаются в настоящее время и советскими радиоламповыми заводами. Приводим некоторые данные этих ламп.

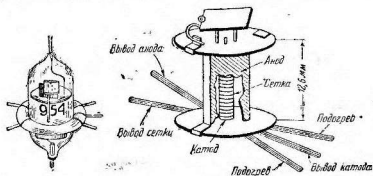


Рис. 11. 10.

Таблица 11. 7

	Жолудь 954	Жолудь 955	Жолудь 956
Назначение	пентод (детект. или усилитель)	триод (детект., усилитель или генератор)	пентод (с переменной крутизной)
Полная высота (мм)	43	35	43
Максимальный диаметр (мм)	28	30	28
Напряжение канала (в)	6,3	6,3	6,3
Ток канала (а)	0,15	0,15	0,15
Входная емкость (мкмкф)	3	1,0	2,7
Выходная емкость (мкмкф)	3	0,6	3,5
Емкость управл. сетка—анод (мкмкф)	0,007	1,4	0,007
Анодное напряжение (в)	250	180	250
Напряжение сетки № 1 (управл.) (в)	—3	—5	—3
Напряжение сетки № 2 (в)	100	—	100
Напряжение сетки № 3 (в)	от 0 до 100	—	от 0 до 100
Коэффициент усиления	2000	25	1440
Крутизна (ма/в)	1,4	2,0	1,8
Внутреннее сопротивление (ом)	1 500 000	12 500	800 000
Анодный ток (ма)	2,0	4,5	5,5
Ток экранирующий сетки (ма)	0,7	—	1,8
Смещение сетки № 1 для получения крутизны $S=0,002$ ма/в (в)	—	—	—45

Трансляционные лампы

Трансляционные лампы типов ТО-141, ТО-142 и ТО-143 предназначены для работы в различных установках связи, как, например, на линиях много-частотной проводочной связи, кабельной связи, трансляции широкове- щания по проводам и др., где требуется большая автоматичность.

Все три типа ламп имеют оксидный катод непосредственного накала и плоскую форму электродов с вертикальными креплениями.

В основном конструкция всех трех типов совершенно аналогична: ТО-141 и ТО-142 отличаются друг от друга размерами сетки и анода, а ТО-143 кроме размеров отличается еще и тем, что имеет не две петли нити накала, а три.

Особенности конструкции этих ламп позволяют достичь постоянства статического коэффициента усиления в различных точках характеристики и, таким образом, уменьшить искажения, даваемые лампой.

Основные данные трансляционных ламп приведены в табл. 11. 8 (стр. 402).

Все три типа ламп имеют одинаковый ток накала $I_f = 1$ а и могут ра- ботать с баррелерами Б-2 или Б-3, включенными последовательно в цепь накала ламп.

Особенностью трансляционных ламп является также большой срок службы (свыше 4000 час.).

Наивыгоднейшее сопротивление нагрузки:

для лампы ТО-142	$R_H \approx 2000 - 4000$ ом,
» » ТО-143	$R_H \approx 1500 - 3000$ »

Все три лампы имеют стандартную систему цоколевки, показанную на рис. 11. 18.

Типовые характеристики этих трансляционных ламп приведены на рис. 11. 11—11. 16.

Изменение рабочих параметров при различном режиме ламп ТО-141 и ТО-142 показано на графиках рис. 11. 17 и рис. 11. 19—11. 21.

Трансляционные лампы имеют следующие назначения:

ТО-141 — усилительная в трансляциях низкой частоты, каскад предва- рительного усиления, детектор и модулятор в установках частотной связи;

ТО-142 — генераторная в установках частотной связи и измерительной аппаратуре, усилительная в трансляциях высокой и низкой частоты;

ТО-143 — мощное усиление низкой частоты в установках частотной связи, радиовещания, измерительной аппаратуре.

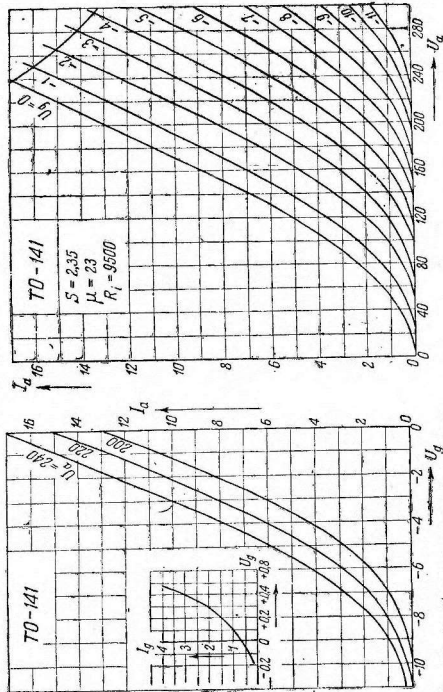


Рис. 11. 11. Сеточные характеристики трансляционной лампы TO-141. Внутри графика дана характеристика сеточного тока.

Рис. 11. 12. Анодные характеристики трансляционной лампы TO-141.

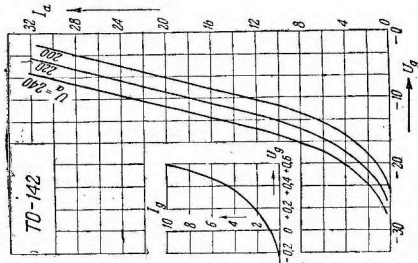


Рис. 11. 13.

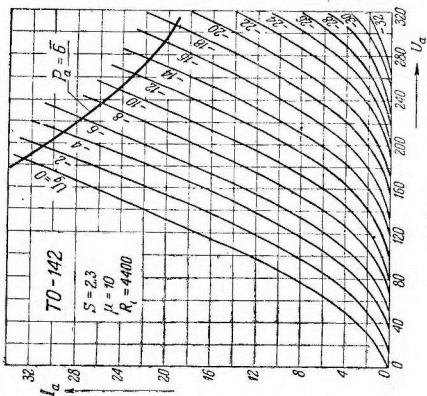


Рис. 11. 14.

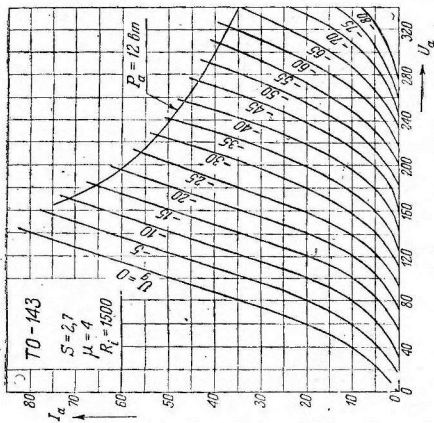
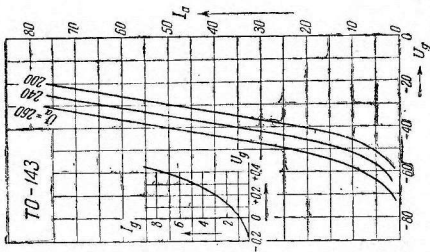


Рис. 11. 15. Сеточные характеристики трансляционной лампы TO-143. Внутри графика дана характеристика сеточного тока.

Рис. 11. 16. Анодные характеристики трансляционной лампы TO-143.

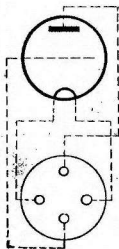


Рис. 11.18. Система цоколевки ламп
ТО-141, ТО-142 и ТО-143.

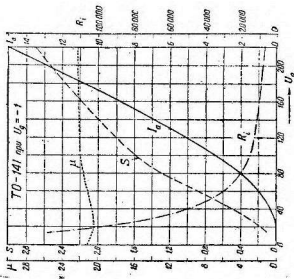


Рис. 11.17. Рабочие параметры лампы
ТО-141 при различном анодном напря-
жении.

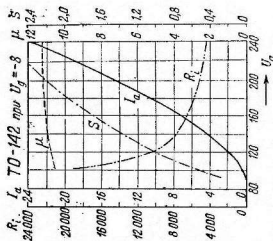


Рис. 11.19. Рабочие параметры лам-
пы ТО-142 при различном анодном
напряжении.

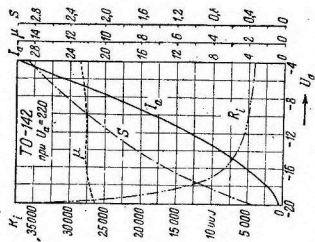


Рис. 11. 20. Изменение рабочих параметров лампы TO-142 в зависимости от сеточного смещения.

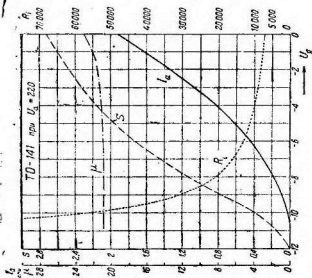


Рис. 11. 21. Изменение рабочих параметров лампы TO-141 в зависимости от сеточного смещения.

Усилительные лампы проводной связи

Величина	Обозначение	В каких един.	ТО-141	ТО-142	ТО-143
Напряжение накала	U_f	<i>в</i>	2,15—2,65	2,15—2,65	3,4—4,1
Ток накала	I_f	<i>а</i>	1,0	1,0	1,0
Мощность накала	P_f	<i>вт</i>	2,15—2,65	2,15—2,65	3,4—4,1
Ток эмиссии	I_e	<i>ма</i>	60	100	150
Рабочее анодное напряжение	U_a	<i>в</i>	220	220	220
Сеточное смещение	U_g		—3	—7,5	—35
Нулевой анодный ток	I_{ao}	<i>ма</i>	14	32	140
Рабочий анодный ток (при U_g)	I_a	»	8	15	30
Коэффициент усиления		—	21—26	10—12	3,7—4,5
Проницаемость	D	%	3,9—4,8	8,4—10	22—27
Крутизна	S	<i>ма</i>	2,1—2,6	2,0—2,5	2,5—3,0
Внутреннее сопротивление	R_i	<i>ом</i>	9000—11 000	4400—5500	1350—1640
Мощность рассеяния на аноде	P_a	<i>вт</i>	—	6	10
Неискаженная мощность выхода	P_a	<i>вт</i>	50	150	800
Сеточное напряжение запирания	U_{g0}	<i>в</i>	—13	—27	—80
Сопротивление изоляции	—	<i>мгом</i>	100	100	100
Пробивное анодное напряжение	—	<i>в</i>	440	440	440
Нулевой сеточный ток	I_{g0}	<i>мка</i>	0,5	0,5	3,0
Емкость анод-сетка	$C_{a-гг}$	<i>см</i>	7	7,5	8
Емкость сетка-нить	$C_{г-н}$	»	5	5	5,5
Высота лампы	l	<i>мм</i>	140—150	140—150	145—155
Наибольший диаметр баллона	d_{max}	»	48—50	48—52	58—62

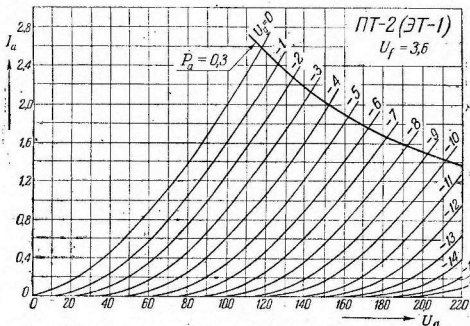


Рис. 11. 22. Анодные характеристики триода ПТ-2 (ЭТ-1, или микролампы).

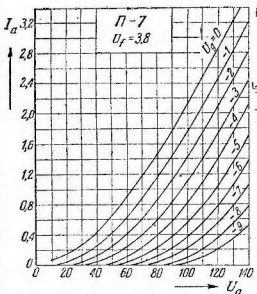


Рис. 11. 23. Анодные характеристики триода П-7 (P-5).

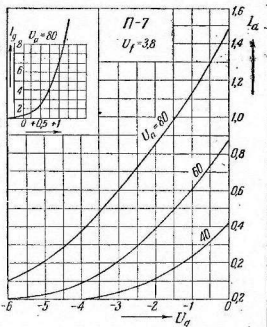


Рис. 11. 24. Сеточные характеристики триода П-7 (P-5).

На внутреннем графике дана характеристика сеточного тока.

Приемно-усилительные

№ по пор.	Тип лампы	Конструкция	Тип катода	Напряжение накала	Ток накала	Мощность накала	Анодное напряжение
				в	а	вт	в
1	П-7	Триод	Вольфр.	3,8	0,65	2,47	80
2	УБ-107	»	Бариев.	4	0,075	0,3	160
3	УБ-110	»	»	4	0,075	0,3	160
4	ПБ-108	»	»	1,2	0,08	0,07	60
5	ПТ-2	»	Торир.	3,6	0,066	0,24	80
6	УБ-152	»	Бариев.	2	0,12	0,24	80
7	УБ-178	»	»	2	0,12	0,24	80
8	УБ-132	»	»	4	0,155	0,62	160
9	УК-30	»	Карб. вольфр.	5,6	0,82	4,6	400
10	УБ-153	»	Бариев.	2	0,2	0,4	100
11	УО-201	»	Оксид.	4	0,6—1	4	240
12	СО-44	Экран	»	3,6	0,22	0,8	160
13	СБ-147	»	Бариев.	4	0,15	0,6	160
14	СБ-112	»	»	4	0,075	0,3	160
15	СБ-151	»	»	4	0,8	3,2	160
16	СБ-154	»	»	2	0,12	0,24	120
17	СБ-155	Пентод н. ч.	»	2	0,2	0,4	120
18	СБ-194	Д. Т.	»	2	0,3	0,6	120

Таблица 11.9

ЛАМПЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Напряжение на экранирующей сетке	Минус на сетку	Коэффициент усиле- ния	Крутизна характе- ристики	Внутреннее сопро- тивление	Добротность	Неискаженная мощность выхода	Мощность рассея- ния на аноде	Срок службы	Высота баллона	Диаметр баллона	№ по пор.
в	в	—	ма/в	ом	мет/в ²	вт	вт	час.	мм	мм	
—	1—2	10	0,33	30 000	3,3	0,05	2	500	108	39	1
—	4—6	11	1,35	8 100	14,9	0,06	2	1000	98	42	2
—	2—3	25	1,3	20 000	32,5	0,04	2	1000	98	42	3
—	2	7	0,4	17 000	2,8	0,01	0,2	200	100	42	4
—	1—2	11	0,42	26 000	4,6	0,01	0,3	500	104	42	5
—	2—4	13	1,6	8 100	20,8	0,04	2,5	—	115	39	6
—	2	35	1,2	29 000	42	0,06	2,5	—	155	39	7
—	5—7	9	2,1	4 300	19	0,2	3	1000	106	56	8
—	15—20	10	1,5	6 700	15	0,8	8	150	150	61	9
—	5—8	10	2,5	4 000	25	0,2	2,5	—	115	39	10
—	—	20	3	6 700	60	1,5	15	—	150	60	11
65	2—3	200	1,3	150 000	260	—	3	500	165	53	12
80	1—2	400	1,7	235 000	680	—	3	—	145	50	13
80	1—2	375	0,8	470 000	300	—	1	750	135	52	14
60	1—2	800	0,9	890 000	720	—	2	—	135	52	15
60	1—2	350	1,3	270 000	456	—	2	—	135	50	16
120	5—6	130	2,3	57 000	300	0,1	3	—	135	50	17
—	—	25	2,5	10 000	62,5	1	2,5	—	135	50	18

Приемно-усилительные лампы 4-вольтовой серии переменного тока

№ по пор.	Тип лампы	Конструкция цп	Тип катода	Ток накала I_f а	Мощность накала P_f вт	Анодное напряжение U_a	Напряжение на экранн. сетке $U(с)$ в	Минус на сетку $-U_g$ в	Коэффициент усиления μ	Крутизна характеристики S ма/в	Внутреннее сопротивление R_i ом	Добротность G мвт/с	Неконтрастная мощность выхода P_a вт	Мощность рассеивания на аноде $P_{ас}$ вт	Срок службы час.	Высота баллона мм	Диаметр баллона мм
1	CO-118	Триод	Подогр. оксид	1	4	240	—	2-5	33	2,25	15 000	74	0,06	4	750	130	56
2	ПО-119	»	»	1	4	240	—	6-8	12,5	2,25	5 600	28	0,2	5	750	130	56
3	УО-104	»	Оксид	0,75	3	240	—	35-40	4	3,2	1 100	12	1,2	12	500	150	60
4	CO-124	Экран.	Подогр. оксид	1	4	240	60	1-2	425	2	210 000	850	—	4	500	165	52
5	CO-148	»	»	1	4	240	60-80	1-15	400	2	200 000	800	—	4	600	165	52
6	CO-182	Пентод в. ч.	»	1	4	240	100	1-1,5	2000	2,5	800 000	5000	—	4	—	140	50
7	CO-183	Пентаграмм	»	1	4	240	100	3	350	1,7	200 000	595	—	—	—	140	50
8	CO-185	ДП	»	1	4	240	—	2	35	1,7	20 000	60	—	5	—	140	50
9	CO-184	ДП	»	1	4	240	—	6-8	14	1,7	8 200	23	—	5	—	140	50
10	CO-122	Пентод н. ч.	»	1	4	240	140	9-12	140	2	70 000	280	1	5	500	145	61
11	CO-187	»	»	2	8	240	200	6-10	150	7	21 500	1050	3	3	—	140	50
12	CO-193	ДП	»	1	4	240	150	6	200	2	100 000	400	0,2	5	—	140	50
13	УБ-179	Триод	Бариев.	2	8	300	—	20-25	6	6	1 000	36	5	30	—	155	60
14	УБ-180	»	»	2	8	750	—	50-80	8	7	1 100	56	12	50	—	155	60

* № по пор.

Таблица 11.11

Приемно-усилительные лампы: данные накала и междуэлектродные емкости

№ по пор.	Типы ламп	Накал			Междуэлектродные емкости		
		U_f	I_f	P_f	входная C_{g1-k}	выходная C_{a-k}	сетка-анод C_{g2-a}
1	ПТ-2 (ЭТ-1)	3,6	0,065	0,22	2,5	2,25	2,0
2	П-7	3,8	0,65	2,5	2,5	3,0	1,6
3	УК-30	5,6	0,825	4,6	3,5	3,0	8,0
4	СО-44	3,6	0,22	0,8	5,5	4,0	0,01
5	УО-104	4,0	0,75	3,0	3,0	5,0	10,0
6	УБ-107	4,0	0,075	0,3	2,0	3,3	3,0
7	ПБ-108	1,2	0,085	0,1	2,5	3,0	2,0
8	УБ-110	4,0	0,075	0,3	2,0	2,6	2,0
9	СБ-112	4,0	0,075	0,3	6,0	4,5	0,01
10	СО-118	4,0	1,0	4,0	3,1	4,4	2,6
11	ПО-119	4,0	1,0	4,0	5,0	2,0	2,0
12	СО-122	4,0	1,0	4,0	6,0	8,0	0,35
13	СО-124	4,0	1,0	4,0	6,0	4,5	0,005
14	УБ-132	4,0	0,155	0,62	3,0	3,6	5,0
15	СБ-147	4,0	0,15	0,6	9,0	6,0	0,61
16	СО-148	4,0	1,0	4,0	6,0	4,5	0,007
17	УБ-152	2,0	0,112	0,225	2,9	3,3	3,8
18	СБ-154	2,0	0,112	0,225	10,0	4,0	0,005
19	СБ-155	2,0	0,225	0,450	8,5	10,5	0,25
20	УБ-178	2,0	0,112	0,225	3,0	4,0	4,4
21	УБ-180	4,0	2,0	8,0	9,3	5,5	3,9
22	СО-182	4,0	1,0	4,0	11,0	5,0	0,008
23	СО-183	4,0	1,0	4,0	$C_{g1-k}=12,5$ $C_{g1-k}=3,5$	$C_{a-k}=11,5$ $C_{g1-g2}=0,15$	$C_{a-g1}=0,25$
24	СО-185	4,0	1,0	4,0	5,5	3,5	2,2
25	УО-186	4,0	1,0	4,0	—	—	—
26	СО-187	4,0	2,0	8,0	6,0	12,0	1,0
27	СО-193	4,0	1,0	4,0	4,6	5,5	0,18
28	СО-194	2,0	0,3	0,6	—	—	—
29	СБ-219	2,0	0,31	0,62	—	—	—

Приемно-усилительные лампы; габариты, вес и средний срок службы

№ по пор.	Тип лампы	Габариты в мм (макс. допуск)		Вес г	Средний срок службы Т час.
		высота h	диаметр d		
1	ПТ-2 (ЭТ-1)	104	42	35	750
2	П-7	104	36,5	36	500
3	УК-30	143	61	56	180
4	СО-44	165	52	—	750
5	УО-104	157	64,5	65	500
6	УБ-107	100	41,5	40	1200
7	ПБ-108	97	41,5	37	300
8	УБ-110	100	41,5	40	1200
9	СБ-112	131	47	64	1000
10	СО-118	135	52	58	750
11	ПО-119	135	52	58	500
12	СО-122	150	52	62	750
13	СО-124	165	46	76	750
14	УБ-132	106	52	52	1200
15	СБ-147	135	46	63	1000
16	СО-148	165	46	76	750
17	УБ-152	120	42	43	1200
18	СБ-154	132	46	58	1200
19	СБ-155	125	52	60	1200
20	УБ-178	120	42	43	1200
21	УБ-180	198	75	206	750
22	СО-182	148	46	58	750
23	СО-183	148	52	64	750
24	СО-185	148	52	56	750
25	УО-186	140	52	67	500
26	СО-187	140	52	60	750
27	СО-193	148	52	60	750
28	СБ-219	135	46	—	—

Таблица 11.13

Универсальные и экранированные лампы старых выпусков

Тип лампы	Катод				Анод			Сетки			Параметры								
	напряжение накала	ток накала	мощность на- кала	P_f вт	I_e ма	рабочее анодное напряжение	U_a в	I_a ма	I_{a0} ма	напряжение смещения (милу на сетку)	I_{g0} мкА	$U(g)$ в	коэффициент усиления	проницаемость	крутизна	R_L ом	G мет/е ²	C_{ag} см	емкость анод-сетки
Универсальные триоды																			
ПТ-20 (микро)	3,6	0,07	0,25	6	120	15	3,2	0	—	4	0	—	11	9	0,4	28 000	4,4	5	—
ЭТ-1	3,6	0,065	0,23	9	120	0,8	2,4	0	—	4	0	—	10	10	0,4	25 000	4,0	5	—
ПО-23	1,0	0,2	0,2	—	120	5	8	0	—	5	0	—	8	2	0,6	13 000	4,8	—	—
СТ-6 (МДС, двухсетка)	3,6	0,08	0,29	—	16	1,2	2,6	5	8	2	5	—	4	25	0,7	5 500	2,8	—	—
УБ-111	4,0	0,08	0,32	25	160	8	16	0	—	7	0	—	5	20	1,2	4 200	6,0	—	—
ПО-74 (подо- гревная)	1,3	1,8	2,3	30	160	8	16	20	—	7	20	—	10	10	1,1	9 000	11	—	—
Экранированные и пентоды																			
СО-31	1,0	1,1	1,1	—	160	4	5	0	60	1	0	—	170	0,6	0,9	190 000	150	—	—
СО-95 (подо- гревная)	1,5	1,8	2,7	35	200	4,5	7	20	80	2	20	—	200	0,5	1,25	160 000	250	—	—
СО-90	1,7	1,0	1,7	—	200	11	15	5	80	3	5	—	200	0,5	1,0	200 000	200	—	—
СО-44	3,6	0,22	0,8	40	200	8	10	0	60	2	0	—	200	0,5	1	200 000	200	0,04	0,06
СТ-80	3,6	0,18	0,6	25	200	3	4	0	90	2	0	—	200	0,5	0,5	400 000	100	—	—

Маломощные усилительные лампы старых типов

Тип лампы	Катод				Анод			Сетки		Параметры						
	напряжение накала	ток накала	мощность накала	ток эмиссии	рабочее анодное напряжение	рабочий анод-ный ток	нагревательный анод-ный ток	U_g в	начало сеточ-ного тока при	μ	процентность	S ма/с	R_i ом	G мем/с ²	P_{as} те	$P_{a\max}$ мет
СТ-19 (ПТ-19)	2,2	0,25	0,55	22	200	2	—	2	-0,5	27	3,7	0,3	90 000	8	—	—
СТ-83	3,6	0,07	0,25	8	200	2	—	3	-0,3	27	3,7	0,3	90 000	8	—	—
ПО-114	1,5	2	3	30	160	—	—	—	-1	35	3	1,0	35 000	35	—	—
УТ-1	3,6	0,52	1,9	80	240	9	30	27	0	4,8	20,8	0,7	6 800	3,4	—	250
МТ-1	3,3	0,55	1,8	80	240	9,5	25	25	0	5,5	18,2	0,6	8 500	3,4	—	250
УТ-40	3,6	0,18	0,65	25	160	4,4	10	7,5	-0,8	10	10	0,85	11 700	8,5	—	50
УО-3	3,6	0,27	1,0	30	160	7,5	18	6,5	-0,2	10	10	1,5	6 700	15	2	85
УТ-15	4,8	0,8	3,8	80	240	7,5	24	14	+0,1	10	10	1,25	8 000	12,5	4	240
УК-30	5,5	0,8	4,4	200	320	12,5	35	15	+0,3	10	10	1,7	5 900	17	8	320
НТ-79	3,6	0,7	2,5	100	160	8	25	5	0	10	10	2	5 000	20	—	100
УК-34	5,6	0,85	4,8	220	500	50	100	35	—	7	14,3	1,5	700	10	20	700
УК-33	11	2,4	26	550	800	110	350	60	—	8	12,5	4	2 000	32	120	10 000

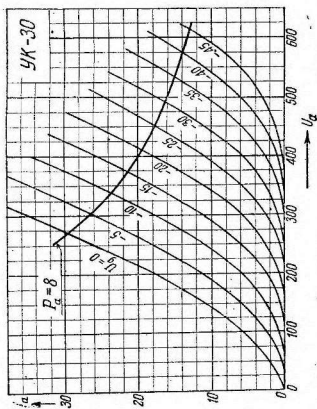


Рис. 11. 25. Анодные характеристики лампы УК-30;

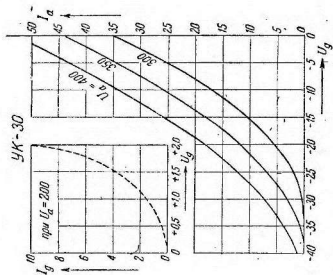


Рис. 11. 26. Сеточные характеристики лампы УК-30.

На внутреннем графике дана характеристика сеточного тока (I_g — в микроамперах).

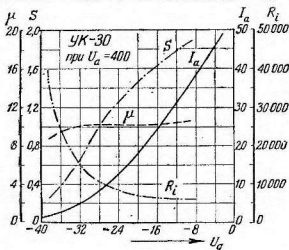


Рис. 11. 27. Изменение рабочих параметров лампы УК-30 при различных смещениях на сетке;

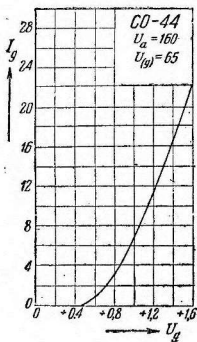
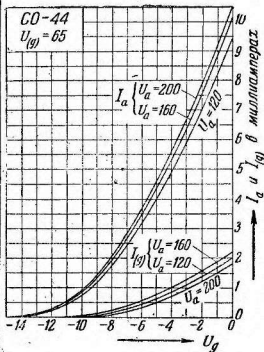


Рис. 11. 28. Сеточные характеристики лампы СО-44.

На том же чертеже нанесены характеристики тока акрипирующей сетки. На правом чертеже—характеристика сеточного тока.

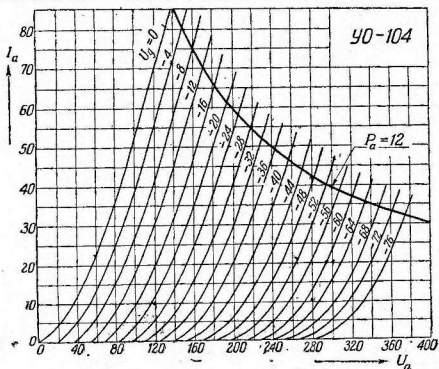


Рис. 11. 29. Зависимость анодного тока лампы УО-104 от анодного напряжения при разных отрицательных напряжениях управляющей сетки.

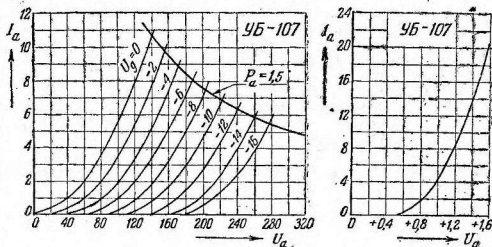


Рис. 11. 30. Анодные характеристики лампы УБ-107.
Панправо—характеристика сеточного тока той же лампы.

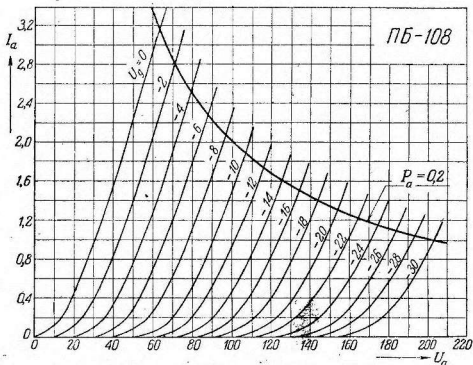


Рис. 11.31. Анодные характеристики лампы 6Б-108.

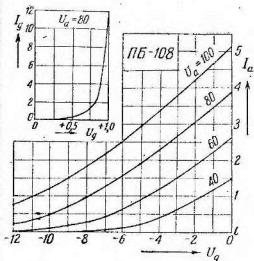


Рис. 11.32. Сеточные характеристики лампы 6Б-108.

На лево вверху дана характеристика сеточного тона той же лампы.

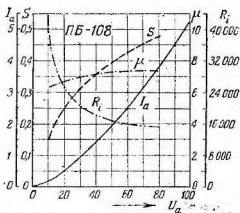


Рис. 11.33. Изменение параметров лампы 6Б-108 при различных анодных напряжениях.

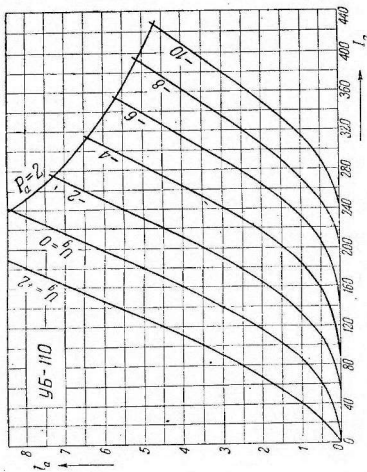


Рис. 11. 34. Зависимость анодного тока от анодного напряжения при разных напряжениях управляющей сетки.

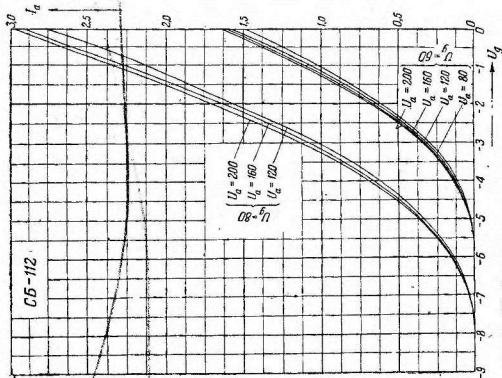


рис. 11. 35. Зависимость анодного тока от напряжения на управляющей сетке при разных постоянных напряжениях на аноде и на экранирующей сетке.

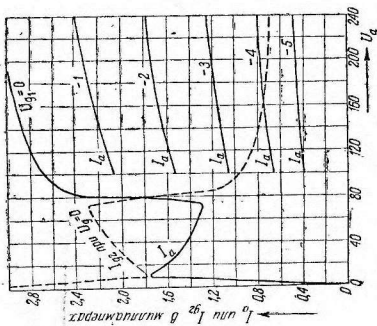


рис. 11. 36. Анодные характеристики лампы СБ-112 для различных напряжений на управляющей сетке.

Пунктиром показан ток экранирующей сетки при $U_{g1} = 0$.

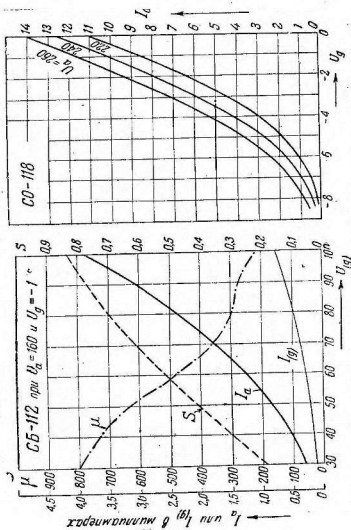


Рис. 11. 38. Сеточные характеристики лампы CO-118.

Рис. 11. 37. Изменение параметров лампы СБ-112 в зависимости от напряжения на экранирующей сетке.

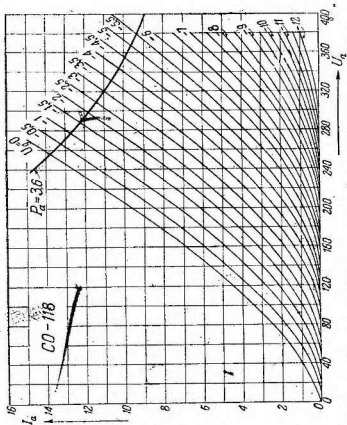


Рис. 11. 39. Зависимость анодного тока от анодного напряжения при разных напряжениях управляющей сетки.

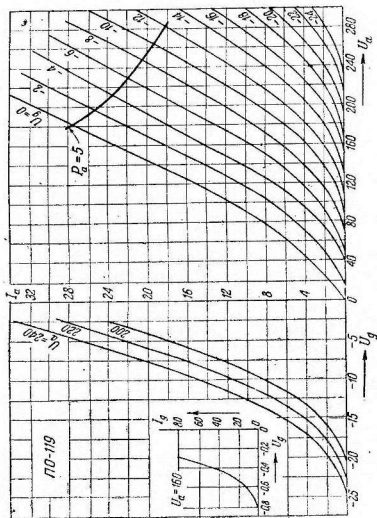


Рис. 11.40. Сеточные и анодные характеристики лампы ПО-119.

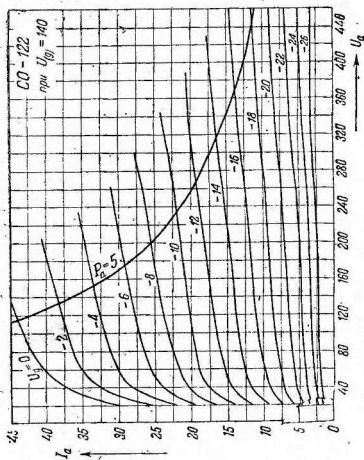


Рис. 11. 41. Анодные характеристики пентода CO-122.
при $U_{(g)} = 140$ в.

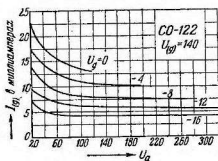


Рис. 11. 42. Характеристики тока экранирующей сетки пентода CO-122.

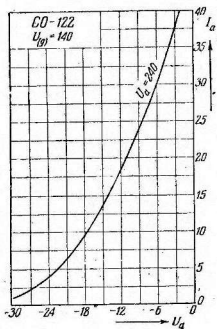


Рис. 11. 43. Сеточная характеристика пентода CO-122.

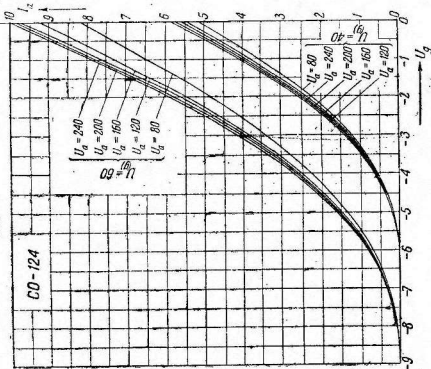


Рис. 11. 44. Зависимость анодного тока лампы CO-124 от напряжения на управляющей сетке при разных постоянных напряжениях на аноде и на экранирующей сетке.

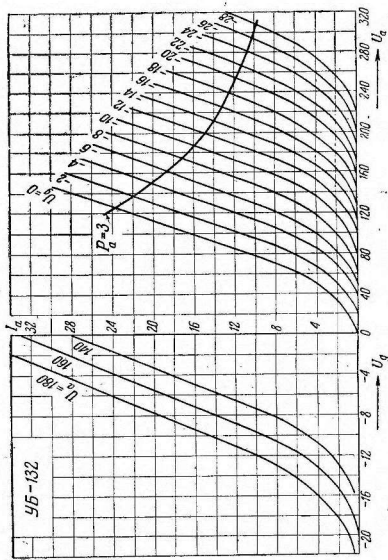


Рис. 11. 45. Сеточные и анодные характеристики лампы 4Б-132.

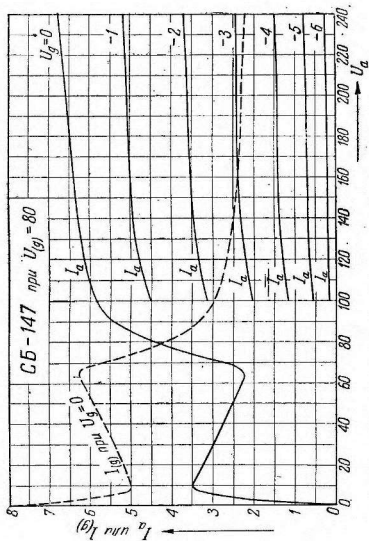


Рис. 11. 46. Анодные характеристики лампы СБ-147 при $U_{(g)} = 80$.

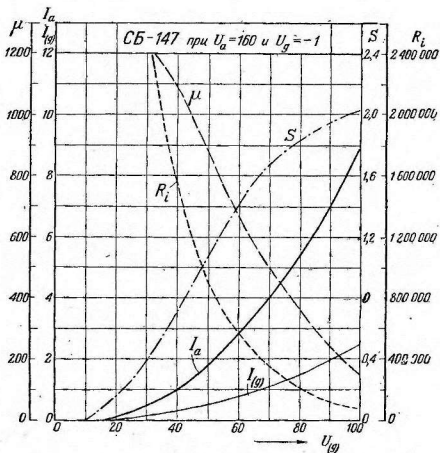


Рис. 11. 47. Изменение рабочих параметров лампы СБ-147 в зависимости от напряжения на экранирующей сетке.

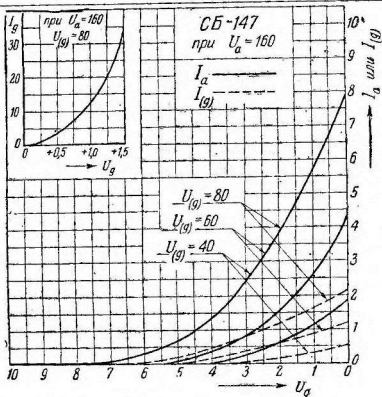


Рис. 11.48. Сеточные характеристики лампы 6Б-147. Пунктиром нанесены точки экранирующей сетки. Внутренний график дает характеристику сеточного тока.

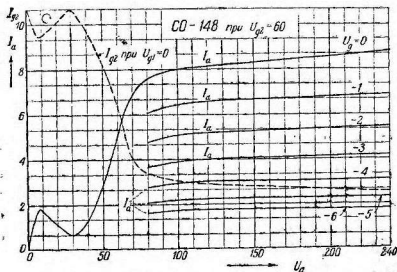


Рис. 11.49. Анодные характеристики лампы 6О-148.

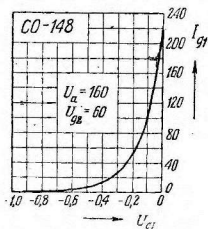


Рис. 11. 50. Характеристика сеточного тока лампы CO-148

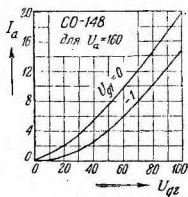


Рис. 11. 51. Характеристика анодного тока лампы CO-148 в зависимости от напряжения на экранирующей сетке.

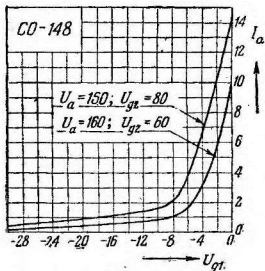


Рис. 11. 52. Сеточные характеристики лампы CO-148.

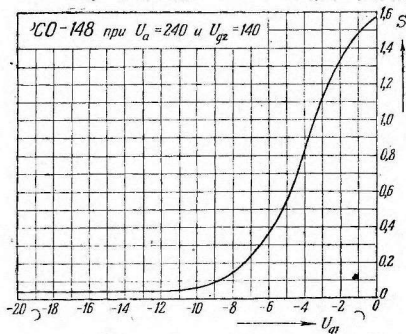


Рис. 11. 53. Изменение рабочей крутизны лампы CO-148 в зависимости от смещения на сетке.

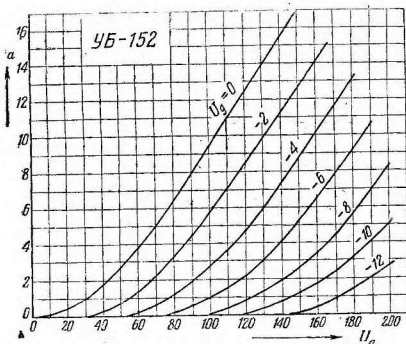


Рис. 11. 54. Анодные характеристики триода УБ-152.

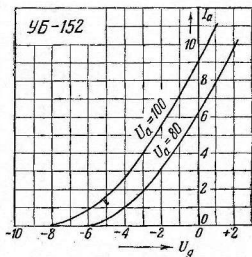


Рис. 11. 55. Сеточные характеристики триода УБ-152.

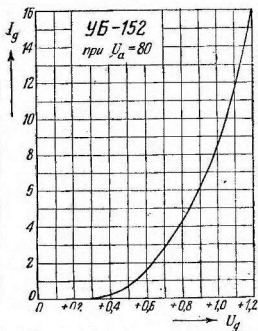


Рис. 11. 56. Характеристика сеточного тока лампы УБ-152.

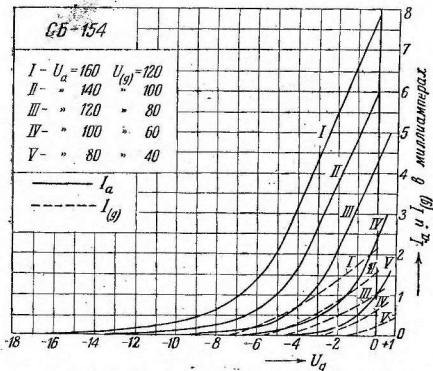


Рис. 11. 57. Сеточные характеристики СБ-154.

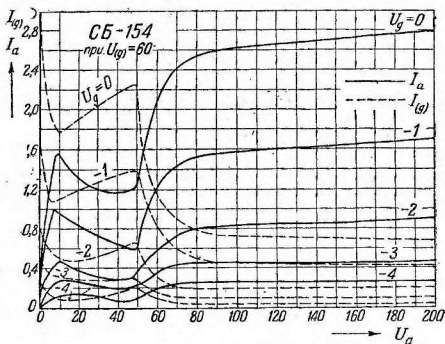


Рис. 11. 58. Характеристики анодного тока и тока экранный сетки CB-154 для $R_{(g)} = 60 \text{ в.}$

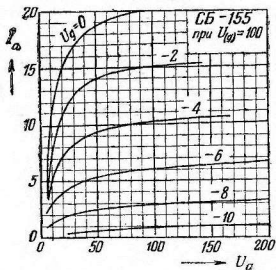


Рис. 11. 59. Анодные характеристики пентода CB-155.

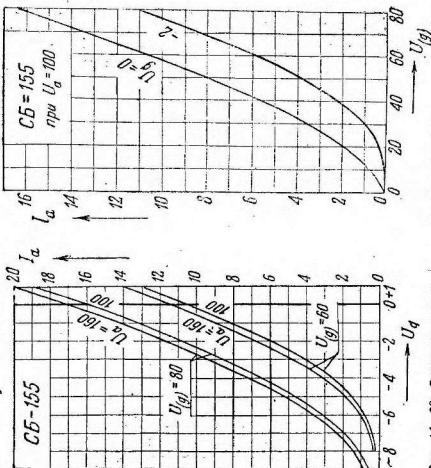


Рис. 11. 60. Сеточные характеристики пентода CB-155.

Рис. 11. 61. Зависимость анодного тока пентода CB-155 от напряжения на экранирующей сетке.

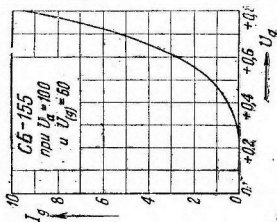


Рис. 11. 62. Характеристика сеточного тока пентода CB-155.

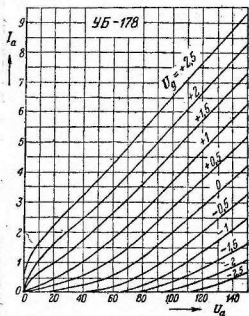


Рис. 11. 63. Анодные характеристики двухвольтового триода 6УБ-178.

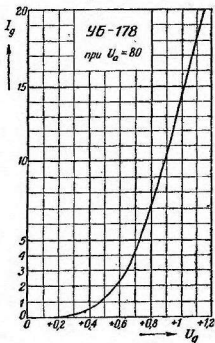


Рис. 11. 64. Характеристика сеточного тока триода 6УБ-178.

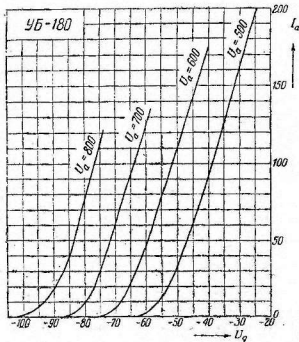


Рис. 11. 65. Сеточные характеристики лампы 6УБ-180.

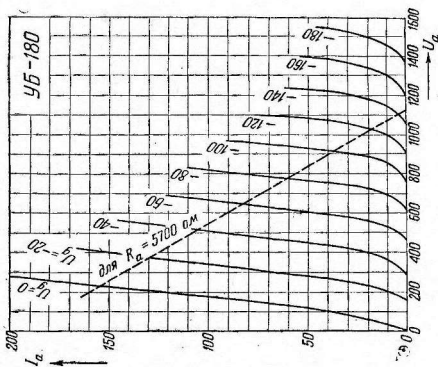


Рис. 11. 66. Анодные характеристики лампы 6B5-180.

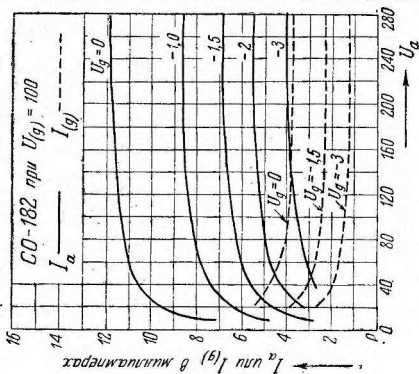


Рис. 11. 67. Сеточные характеристики пентода CO-182, при различных напряжениях на экранирующей сетке.

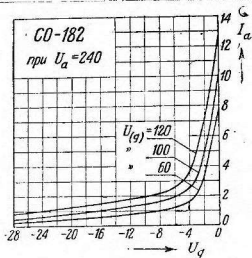


Рис. 11.68. Анодные характеристики высокочастотного пентода CO-182. Пунктиром нанесена зависимость тока экранирующей сетки от анодного напряжения.

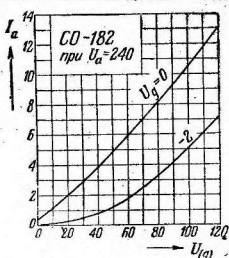


Рис. 11.69. Зависимость анодного тока от напряжения на экранирующей сетке при различном смещении на управляющей сетке.

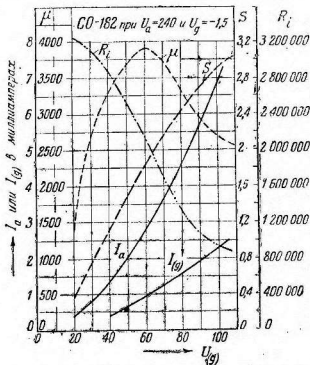


Рис. 11.70. Зависимость рабочих параметров пентода CO-182 от напряжения на экранирующей сетке.

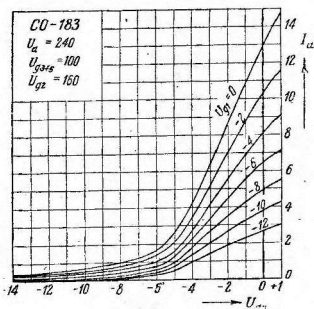


Рис. 11. 71. Зависимость анодного тока пентагрида CO-183 от напряжения на четвертой сетке.

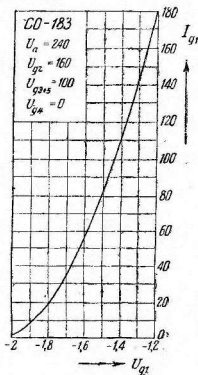


Рис. 11. 72. Характеристика сеточного тока первой сетки пентагрида CO-183.

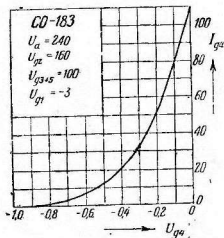


Рис. 11. 73. Характеристика сеточного тока четвертой сетки пентагрида CO-183.

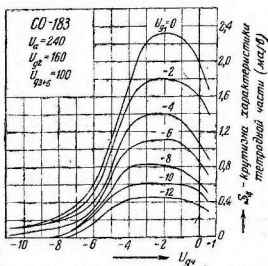


Рис. 11. 74. Зависимость крутизны характеристики тетродной части от напряжения на четвертой сетке пентагрида CO-183

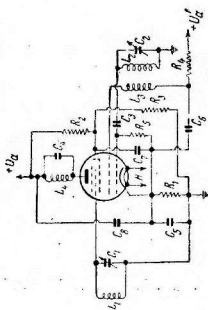


Рис. 11.75. Схема включения пентода CO-183.

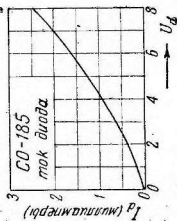


Рис. 11.77. Ток одного диода лампы CO-185 в зависимости от напряжения между катодом и диодом.

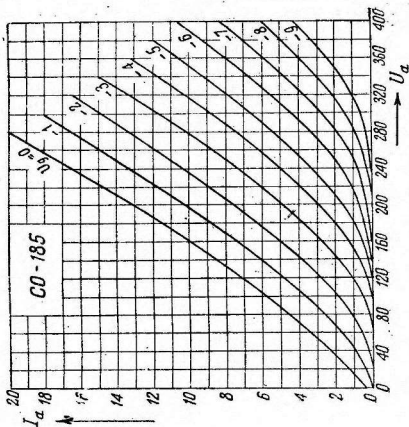


Рис. 11.76. Анодные характеристики триодной части лампы CO-185.

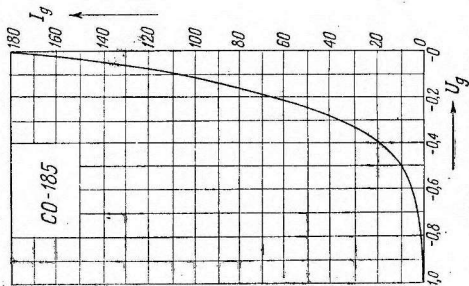


Рис. 11.78. Характеристика сеточного тока триодной части лампы CO-185.

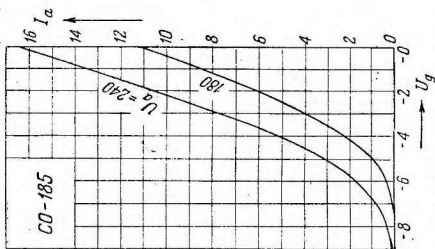


Рис. 11.79. Сеточные характеристики триодной части лампы CO-185.

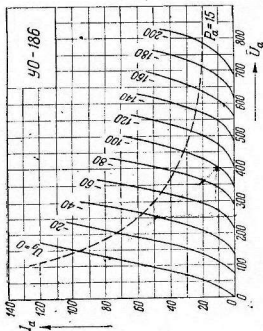


Рис. 11. 80. Анодные характеристики лампы YO-186.

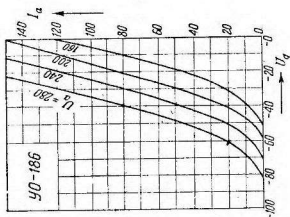


Рис. 11. 81. Сеточные характеристики триода YO-186.

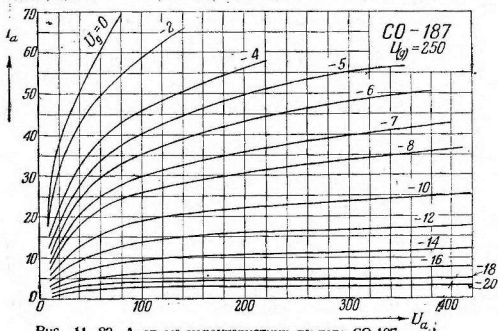


Рис. 11.82. Анодные характеристики пентода CO-187.

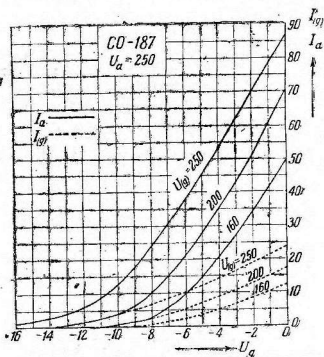


Рис. 11.83. Сеточные характеристики низкочастотного пентода CO-187.

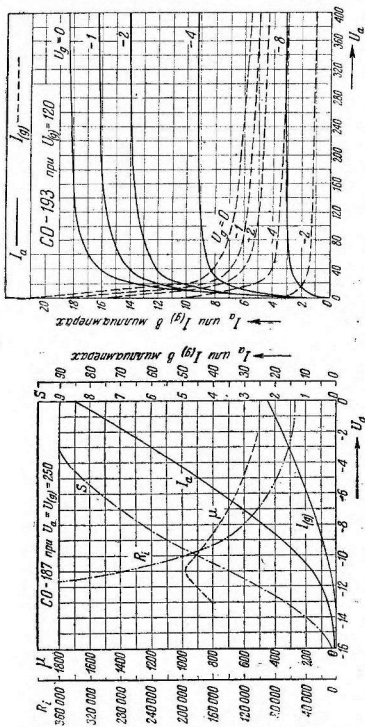


Рис. 11. 84. Зависимость рабочих параметров пентода CO-187 от напряжения на управляющей сетке.

Рис. 11. 85. Анодные характеристики двойного диод-пентода CO-193. Пунктиром даны характеристики тока экранирующей сетки.

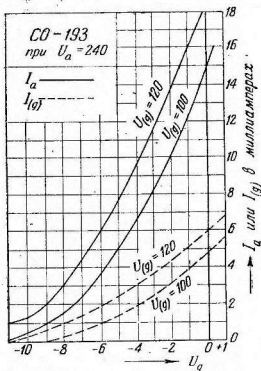


Рис. 11. 86. Сеточные характеристики двойного диодпентода CO-193. Пунктиром даны характеристики тока экранирующей сетки.

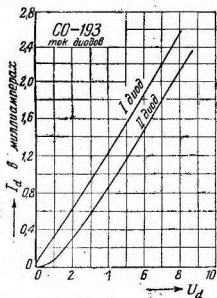


Рис. 11. 88. Диодные характеристики диодной части CO-193.

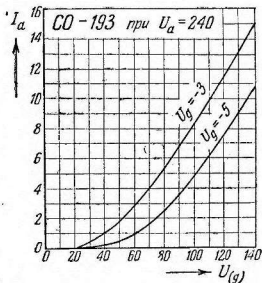


Рис. 11. 87. Зависимость анодного тока от напряжения на экранирующей сетке для CO-193.

Таблица 11.15

Модуляторные лампы

Тип лампы	Габариты в мм		Напряжение накала	Ток накала	Ток эмиссии	Напряжение измерения тона эмиссии	Анодное напряжение	Макс. мощность, рассеиваемая анодом	Коэффициент усиления μ	Крутизна	Средний срок службы катодов
	высота	диаметр	в	а	ма	в	в	вт	—	ма/с	час.
M-50	$\begin{Bmatrix} 240+0 \\ -20 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 93+0 \\ -6 \end{Bmatrix}$	11	$6,3 \pm 0,5$	270 ± 80	500	1 200	50	10 ± 2	$1,45 \pm 0,29$	1000
M-80	$\begin{Bmatrix} 250+0 \\ -10 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 63+0 \\ -6 \end{Bmatrix}$	11	$3,5 \pm 0,8$	260 ± 70	500	1 200	80	$10,5 \pm 1,5$	$1,45 \pm 0,29$	200
M-150	$\begin{Bmatrix} 355+0 \\ -50 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 78+0 \\ -6 \end{Bmatrix}$	11	$6,3 \pm 0,5$	420 ± 145	500	3 000	150	11 ± 2	$1,45 \pm 0,29$	1000
M-400	$\begin{Bmatrix} 445+0 \\ -30 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 105+0 \\ -10 \end{Bmatrix}$	17	$18 \pm 1,4$	$2 300 \pm 700$	500	1 500	400	10 ± 2	$6,0 \pm 1,2$	1000
M-401	$\begin{Bmatrix} 495+0 \\ -30 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 207+0 \\ -14 \end{Bmatrix}$	16	$10,3 \pm 0,8$	$1 200 \pm 360$	1200	10 000	400	$52 \pm 10,0$	$2,9 \pm 0,6$	1000
M-800	$\begin{Bmatrix} 445+0 \\ -30 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 105+0 \\ -10 \end{Bmatrix}$	17	$8,4 \pm 0,7$	800 ± 250	1200	10 000	800	16 ± 3	$2,2 \pm 0,4$	1000
MO-10	$\begin{Bmatrix} 570+0 \\ -40 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 210+0 \\ -40 \end{Bmatrix}$	16,5	52 ± 4	$10 000 \pm 3000$	2500	10 000	10 000	$18 \pm 3,5$	$7,0 \pm 2$	1000
MO-20	$\begin{Bmatrix} 670+0 \\ -40 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 210+0 \\ -40 \end{Bmatrix}$	22	51 ± 4	$10 000 \pm 3000$	2500	10 000	20 000	$13 \pm 3,5$	$7,0 \pm 2$	1000

Маломощные кенотроны

№ по пор.	Тип		Данные накала		Допустимый режим		Габариты		Примечание
	Марка	Число анодов	I_f	I_h	переменное напряжение на 1 анод (макс.)	выпрямленный ток (макс.)	h	d	
1	BO-116	Двуханодный	4	2	400	115	158	65	То же, что и 2B-400
2	BO-125	»	4	0,7	250	30	118	41	
3	BO-202	»	4	0,7	300	50	118	41	
4	BO-230	Анодный	4	0,7	300	50	118	41	Взаимозаменяемые; значение по ГОСТ 2B-150
5	BO-188	Двуханодный	4	2,2	500	150	145	52	
6	5Ц4	»	5	2	400	125	83 (металл.)	33 (металл.)	
7	83-V	»	5	2	400	200	119	46	Подогретый в металлической колбе; те же электрические данные и для стеклянного 5Ц4-С
8	BO-239	Анодный	4	2	1800	1000 (ампл.)	150	52	Подогретый, стеклянный баллон $P_a = 15 \text{ вт,}$ $T \geq 500 \text{ час.}$

Примечание. Схемы накалки этих кенотронов показаны на рис. 11.97, отдельные характеристики на рис. 11.89 — 11.96.

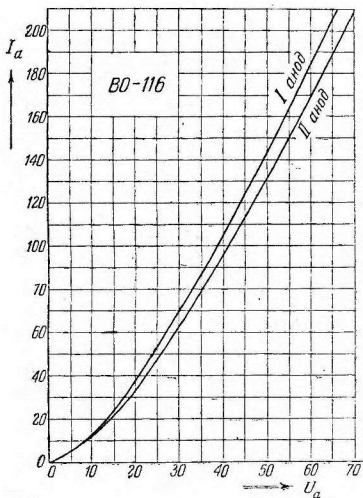


Рис. 11. 89. Характеристика кенотрона BO-116 (для каждого анода отдельно).

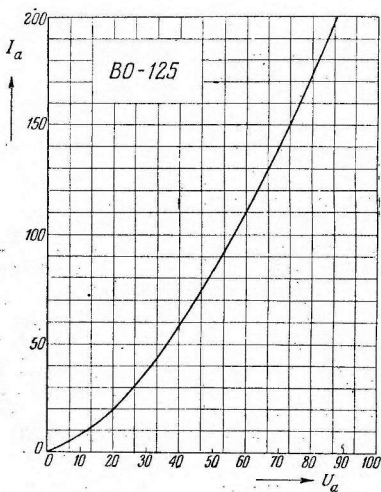


Рис.11.90. Характеристика кенотрона ВО-125. Ток накала $I_p=0,75$.

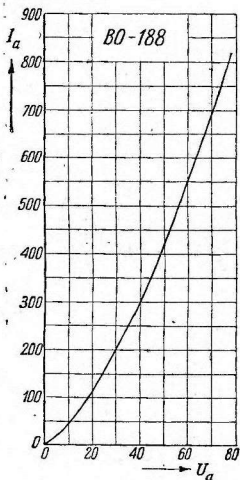


Рис. 11. 91. Основная характеристика двуханодного кенотрона BO-188.

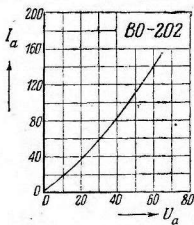


Рис. 11. 92. Основная характеристика двуханодного кенотрона BO-202.

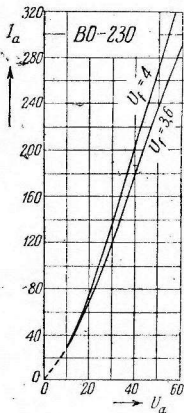


Рис. 11. 93. Основная характеристика анодного кенотрона BO-230 для разных напряжений накала.

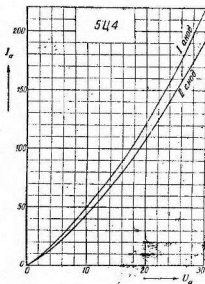


Рис. 11. 94. Характеристики американского металлического кенотрона 5Ц4.

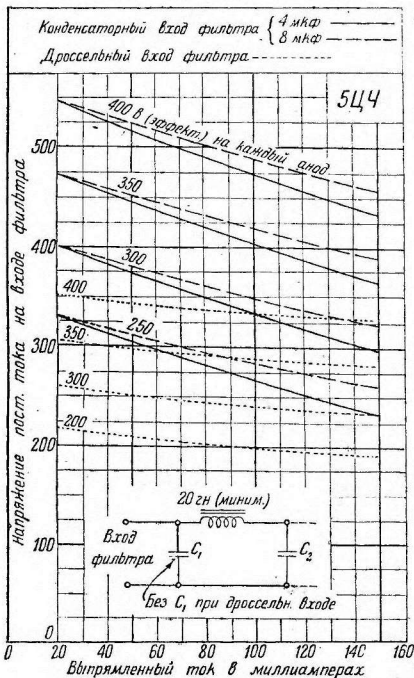


Рис. 11. 95. Типовые характеристики двухполупериодного выпрямителя с кенотроном 5Ц4 (однотипным 5Ц4-С).

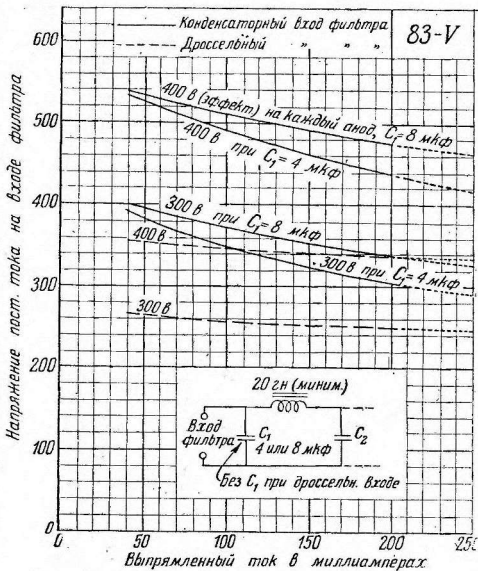


Рис. 11. 96. Характеристики типового двухполупериодного с кенотроном 83-V. выпрямителя

Одноанодные выпрямительные лампы (с лучистым охлаждением)

Обозначение типа		Число анодов	Габариты в мм		Напряжение накала	Ток накала	Макс. рабочая амплитуда анодного тока	Напряжение насыщения	Макс. амплитуда анодного напряжения	Макс. мощность, рассеиваемая анодом	Анодн. напр. для изм. мощн., рассеив. анод.	Средний срок службы
			высота	диаметр								
по ОСТ 7261	старые (заводские) названия				в	а	а	в	в	вт	в	час.
B-200	B-16 (КЛ)	1	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 210-20 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 80-10 \end{Bmatrix}$	12	$6,5 \pm 0,5$	0,2	150	1 200	15	200	500
B-4-200	B-17 (К-5)	1	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 240-20 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 93-20 \end{Bmatrix}$	11	$3,5 \pm 0,3$	0,2	500	4 000	50	1200	200
B-4-201	B-128 (К ₃ -5)	1	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 240-20 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 93-6 \end{Bmatrix}$	11	$6,3 \pm 0,5$	0,2	500	4 000	50	1250	1000
B-8-800	B-27 (К-3/600)	1	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 425-30 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 103-6 \end{Bmatrix}$	17	$8,4 \pm 0,7$	0,8	800	8 000	400	3500	800
B-27-800	B-24 (К ₂ -150)	1	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 495-30 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} +0 \\ 207-14 \end{Bmatrix}$	16	$10,3 \pm 0,8$	0,8	200	27 000	400	900	1000

Тип лампы	Конструкция	Тип катода	Напряжение накала	Ток накала	Мощность накала	Ток насыщения	Анодное напряжение	Полезная мощность	Мощность рассеяния
			в	а	вт	ма	в	вт	вт
Г-65	Триод	Вольфр.	5,2	1,3	6,76	60	750	10	1
ГК-36	»	Карб. вольфр.	5,6	0,86	4,81	170	750	15	2
СК-158	Экран.	Карб. вольфр.	5,6	0,85	4,76	170	750	15	2
М-39	Триод	Вольфр.	11	3,5	38,5	350	1200	20	3
УТ-92	»	Тор.	3,6	0,18	0,65	20	160	2	1
Г-32	»	—	3,2	3,5	11	60	500	15	1
Г-88	»	—	6	4	24	120	600	30	1
Г-91	»	—	11	6,2	67	400	600	60	1
С-94	Экран.	—	11	7,5	82	400	1500	75	1

раоторные лампы

Коэффициент усиления	Кривизна характеристики	Внутреннее сопротивление	Емкость анод-сетки	Срок службы	Цоколевка (см. стр. 390)	Высота баллона	Диаметр баллона	Примечание
—	ма/в	ом	см	час.	—	мм	мм	
60	1	60 000	10	350	A	116	50	Старые названия Г-1 и Г-9
60	1,7	35 000	10	200	A	136	55	Применима для передвижек
400	1,75	230 000	0,04	200	B	160	55	$U_{(g)} = 150$ в. Экранированная ГК-36
10	1,45	6 900	4	250	Двух-горлый баллон	230	90	Применяется и как усилительная
8	0,7	12 000	2	—	A	120	50	Для передвижек
20	0,8	25 000	2,4	—	—	170	60	—
15	0,9	17 000	4	—	—	180	60	—
10	0,9	5 000	5	—	—	180	60	—
100	1,1	100 000	—	—	—	—	—	Габариты в мм 75×130×280

Генераторные лампы

Тип лампы	Габариты в мм		Напря- жение накала	Ток накала	Ток эмиссии	Анодное напря- жение
	высота	диаметр				
			в	а	ма	в
ГД-50 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 240-20 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 63-6 \end{smallmatrix}$	11	$4,1 \pm 0,3$	250 ± 80	1500
ГД-100 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 355-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 78-6 \end{smallmatrix}$	11,5	$3,8 \pm 0,3$	215 ± 65	3000
ГД-200 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 355-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 78-6 \end{smallmatrix}$	11	$6,3 \pm 0,5$	420 ± 125	3000
ГД-400 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 425-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 103-6 \end{smallmatrix}$	17	$8,5 \pm 0,7$	850 ± 255	3000
ГД-1000 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 520-40 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 207-14 \end{smallmatrix}$	16	$10,3 \pm 0,8$	1200 ± 360	10000
ГДО-15 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 570-40 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 210-40 \end{smallmatrix}$	16,5	52 ± 4	11000 ± 3000	10000
ГДО-30 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 670-40 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 230-40 \end{smallmatrix}$	23	72 ± 6	22000 ± 6500	10000
ГК-20 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 136-6 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 54-4 \end{smallmatrix}$	5,6	$0,85 \pm 0,12$	более 200	750
ГКЭ-150 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 340-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 78-6 \end{smallmatrix}$	11	$6,3 \pm 0,5$	420 ± 125	3000
ГКЭ-300 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 445-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 105-10 \end{smallmatrix}$	17	$10,3 \pm 0,8$	750 ± 225	3000
ГКЭ-1000 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 495-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 270-40 \end{smallmatrix}$	17	$18 \pm 1,4$	1900 ± 600	4000
ГК-3000 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 495-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 280-40 \end{smallmatrix}$	17	$18 \pm 1,4$	2300 ± 700	10000
ГКО-10 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 570-40 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 250-40 \end{smallmatrix}$	16,5	52 ± 4	1000 ± 3000	8000
ГУО-5 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 445-30 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 250-40 \end{smallmatrix}$	16,5	52 ± 4	11000 ± 3000	4000
ГУ-4 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 140-12 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 82-4 \end{smallmatrix}$	7	$1,8 \pm 0,1$	107 ± 32	700
ГУ-150 {	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 250-20 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +0 \\ 180-20 \end{smallmatrix}$	11	$10,8 \pm 0,6$	710 ± 200	2500

в ОСТ 7259)

Диаметр эпр. сетки	Пулевой аподный тон	Макс. мощность рассеяния на аноде	Коэффициент усиления	Крутизна	Емкость между анодом и сеткой	Средний срок службы
в	мм	вт	—	мВ/в	см	час.
—	—	80	55 ± 11	$2 \pm 0,4$	—	400
—	—	150	70 ± 14	$1,45 \pm 0,3$	—	500
—	—	150	85 ± 17	$2,35 \pm 0,45$	—	1000
—	—	500	95 ± 20	$3,5 \pm 0,7$	—	1000
—	—	400	250 ± 50	$3,2 \pm 0,6$	—	1000
—	700 ± 150	10 000	47 ± 9	—	—	1000
—	1100 ± 250	20 000	44 ± 8	—	—	1000
—	$10,5 \pm 3,5$	20	53 ± 5	$1,75 \pm 0,25$	$7,1 \pm 0,7$	200
500	—	100	350 ± 100	$2 \pm 0,4$	$\leq 0,05$	750
500	—	400	400 ± 100	$3,9 \pm 0,9$	$\leq 0,05$	1500
500	—	750	150 ± 50	$2,7 \pm 0,7$	$\leq 0,25$	1000
—	—	1 000	200 ± 40	5 ± 1	—	1000
—	700 ± 150	10 000	47 ± 9	—	—	1000
—	700 ± 150	5 000	$14 \pm 2,8$	—	—	—
—	—	35	$12,5 \pm 1,5$	$1,4 \pm 0,3$	—	200
—	—	250	$17,5 \pm 2,5$	$2,2 \pm 0,44$	—	—

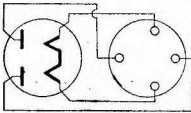
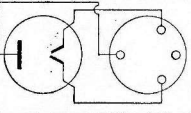
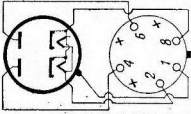
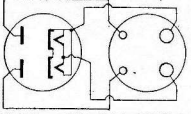
Цоколевка мало мощных кенотронов				
Типы кенотронов	В0-116 (2В-400) В0-125 (2В-150) В0-202 В0-188	В0-230	5Ц4 5Ц4-С	83-У
Тип цоколя	Стандартный 4-штырьковый (старый тип)	Стандартный 4-штырьковый (старый тип)	Оctalный 5-штырьковый	Американский средний 4-штырьковый
Схема цоколевки (вид на цоколь лампы снизу)				

Рис. 11. 97. Цоколевка мало мощных кенотронов.

Генераторные лампы (по номенклатуре завода «Светлана»)

Тип лампы	Старое обозначение	Полезная мощность вт	P_a вт	U_f в	I_f а	U_a в	I_a ма	μ —	S ма/в	R_f тыс. ом	Примечание
Г-9	Г-1	10-15	10	5,2	1,3	750	50-60	50-60	1	50-60	То же Г-65
Г-10	Ж-4	6-8	20	4,1	0,9	400	20-25	15-19	0,4-0,6	25-35	Танталовый анод
Г-32	Г-32	15	15	3,2	3,5	800	60	16-22	0,7-0,9	20-22	
Г-36	Г-36	15	20	5,6	0,86	600	200	50-60	1,5-1,8	30-35	Молибденовый анод
Г-47	Б-250	100-200	150	11,3	3,9	1 500-3 000	215	85	1,35	60	
Г-49	Б-250	250	150	11	6,3	3 000	375	85	2,35	35	
Г-54	БТ-500	500	500	17	8,4	3 000	750	95	3,5	27	Танталовый анод
Г-56	Г-100	1 000	300	16	10,2	10 000	1 200	245	3	82	
Г-61	—	20 000	10 000	16,5	51	10 000	10 000	47	7	7	
Г-62	—	17 000	10 000	16,5	51	10 000	10 000	47	7	7	
Г-64	—	50 000	25 000	48	52	10 000	25 000	47	9	5	
Г-68	Г-300	3 000	1 000	17	18	10 000	2 000	180	5	36	Молибденовый анод
С-94	—	—	75	11	7,5-8	1 500	400	100	1	100	$U_{(g)} = 500 \text{ в}$
С-103	—	—	750	17	18	3 000-4 000	2 000	100	2	50	
С-106	—	—	150	11	6	3 000	375	120	2	60	
С-109	—	—	400	17	10,4	3 000	750	120	2	60	
М-28	М-28	—	150	11	6,4	1 300	375	11	2,4	4-5	
М-39	Г-5	—	34	11	3,4	1 200	200	10	1,45	7	
М-53	М-250	—	150	11	6,3	3 000	375	11	1,45	7-8	То же М-41,
М-57	М-100	—	400	16	10,2	10 000	1 200	52	2,9	18	М-42, М-84
М-89	—	—	450	11	6,3	800-1 200	—	9	5	1,8	

Тиратроны

(ионные выпрямители с управляющей сеткой и твердым накатанным катодом)

№ по пор.	Тип	Габариты в мм		Накат		Активная площадь прямого и обратного тока, см ²	Наибольший выпрямленный ток (среднее значение), А	Наибольшее допустимое значение анодного тока (амплитудное), А	Предельное значение напряжения на сетке, В	Ширина пусковой области, В	Рекомендуемые пределы соотношения в цепи сетки	Средний срок службы, час.	Время прогрева в эксплуатации, мин.	Время прогрева после хранения, час.	Наполнение
		h	d	U _г	I _г										
1	ТГ-160	150	60	2,5	5	1000	0,35	1,0	-30	2	1000—1 000 000	800	2	1	пары ртути
2	ТГ-162	550	260	5,0	40	3000	13	40,0	-80	5	100—5 000	1000	20	2	
3	ТГ-205	155	60	2,5	9	1000	0,5	1,5	-30	3	1000—500 000	800	5	1	
4	ТГ-212	135	50	3,0	2,3	300	0,125	0,5	-20	2	1000—100 000	600	1	—	неон
5	ТГ-213	155	65	2,5	10	500	0,5	1,5	-20	3	1000—100 000	500	2	—	
6	ТГ-215	440	165	5,0	28	500	3,5	10	-20	3	1000—10 000	500	2	—	
7	ТГ-229	595	225	5,0	42	3000	30	100	-40	5	100—5 000	1000	15	2	пары ртути гелий
8	ТГ-235	220	81	5,0	15	750	2,5	6	-10	2	1000—10 000	500	1	—	

Примечания. 1. В эксплуатации допускается непродолжительное изменение напряжения накала на -5% или +10%, вызываемое колебаниями напряжения сети.

2. Падение напряжения внутри тиратронов для всех типов с парами ртути не выше 18 В, для неоновых 30 В.

3. Все тиратроны имеют отрицательные пусковые характеристики.

4. Предельное значение запирающего напряжения на сетке указано для максимального анодного напряжения и полной нагрузки.

5. Внешняя температура: для ртутных газотронов от +20° до +35°; для неоновых газотронов от -20° до +50°.

Основные данные газотронов

Т и п	Макс. диаметр в мм	Макс. высота в мм	Цена накала		Цена анода			Время прогрева газотрона в эксплуатации в мин.	Время прогрева газотрона после хранения в час.	Падение напряжения в в	Срок службы в час.
			напряжение в в	ток в а	макс. амплитуда обр. напр. в в	макс. потребляе мощность, тона в а	наибольший вы- прям. ток в а				
БГ-161	60	140	2,5	4,5—5,5	2 000	1,0	0,35	2	1	10	800
БГ-129	85	205	2,5	8—10	5 000	1,5	0,6	5	1	10	800
БГ-130	115	330	2,5	20—25	7 000	4,0	1,3	5	1,5	10	600
БГ-13	165	445	5,0	27—33	10 000	10,0	3,5	5	2	10	600
БГ-126	225	540	5,0	35—45	12 000	40,0	15,0	10	2	10	800
БГ-167	225	430	5,0	50	1 000	100,0	35,0	20	2	10	800
БГ-176	—	—	2,5	11—12	150	9,0	6	1	—	—	—

Ртутные выпрямители

Тип	Пределная нагрузка на катод	Наименьший рабочий ток	Ток неаэрирования	Макс. выпрям. напряжение	Мин. выпрям. напряжение	Число рабочих анодов	Число вспомогат. анодов	Параллельный срок службы, в час.	Охлаждение		Примечание
									до 220 в	свыше 220 в	
2-B-6	6	3,5	—	250	4	2	—	1000	Естеств.	Естеств.	Колбы ртутных выпрямителей выдерживают перегрузку в 10% в течение 5 мин. и 25% в течение 30 сек.
4-B-6	6	3,5	—	250	4	4	—	1000	»	»	
2-B-12	12	0,05	—	500	25	2	—	1000	»	»	
2-BH-12	12	0,6	4-7	500	6	2	2	1000	»	»	
3-B-12	12	4	—	500	6	3	—	1000	»	»	
3-BH-12	12	0,6	4-7	500	6	2	2	1000	»	»	
2-B-20	20	5	—	500	6	2	—	1000	»	Вентил.	
2-BH-20	20	1	5-7	500	6	2	2	1000	»	»	
3-B-30	30	5	—	500	12	3	—	1000	»	»	
3-BH-30	30	1,5	5-7	500	12	3	2	1000	»	»	
3-BH-60	60	3	6-7	500	12	3	2	800	Вентил.	»	
3-BH-100	100	5	7-8	500	12	3	2	800	»	»	
3-BH-1-500	1	0,05	4-7	500	100	3	2	800	Естеств.	Естеств.	
3-BH-4-3000	4	0,2	6-7	3000	500	3	2	800	Вентил.	Вентил.	
3-BH-6-12000	6	0,3	6-7	10000	3000	2	2	800	»	»	
3-BH-6-15000	6	0,3	6-7	10000	3000	3	2	800	»	»	
3-BH-15-8000	15	0,8	7-8	8000	3000	3	2	800	»	»	

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

! Фотоэлементом называется устройство, электрические характеристики которого могут изменяться под действием света. Фотоэлементы можно разбить на три группы:

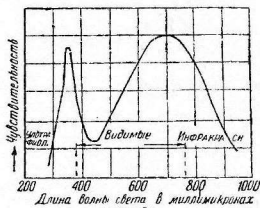


Рис. 11. 98. Чувствительность цезиевого фотоэлемента при различной длине световых волн.

а) Пустотные, или же газовые, фотоэлементы, у которых светочувствительный слой под действием световых лучей излучает электроны (ток эмиссии); Эта группа фотоэлементов требует для использования в схеме батареи высокого напряжения (100—200 в).

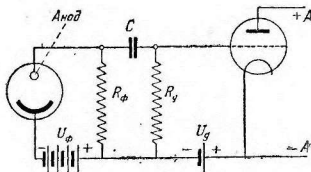


Рис. 11. 99. Типовая схема включения фотоэлемента для дальнейшего усиления при модулированном падающем свете.

б) Таллофидные и селеновые фотоэлементы, у которых под действием света изменяется величина сопротивления. Эти элементы требуют также дополнительного источника напряжения.

в) Фотоэлементы с собственной электродвижущей силой (фотоэффект Ланге), позволяющий присоединение измерительного гальванометра без дополнительной батареи. Из этой группы наибольшее развитие получили меднозакисные фотоэлементы.

Пустотные фотоэлементы имеют чувствительность примерно 20—40 мка/лм; газонаполненные 50—120 мка/лм.

Наибольшую чувствительность имеют цезиевые фотоэлементы, обладающие спектральной чувствительностью, весьма выгодной при использовании света обычных ламп накаливания (максимум чувствительности лежит примерно в той же области, где находится максимум излучения обычной лампы накаливания). Характеристика цезиевого фотоэлемента приведена на рис. 11. 98. Типичная схема включения фотоэлемента для использования модулированного света (например, при воспроизведении звука, записанного на киноплёнке) приведена на схеме рис. 11. 99.

В табл. 11. 24 приведены основные сведения о цезиевых фотоэлементах, выпускаемых советскими заводами.

Таблица 11. 24

Тип фото- элемента	Электрические и световые характеристики			
	рабочее напряжение пост. тока e	чувствитель- ность мка/лм	потенциал закисания пост. тока e	Темновой ток при 240 e a
ЦГ-1	240	100	320	$< 10^{-7}$
ЦГ-2	240	75—150	310	$< 10^{-7}$
ЦГ-3	240	100	290	$< 10^{-7}$
ЦГ-4	240	75—150	310	$< 10^{-7}$
ЦГ-5	240	75—150	315	$< 10^{-7}$

Примечание. Темновым током называется предельно малый ток, остающийся в цепи фотоэлемента даже в темноте.

БАРРЕТЕРЫ

Барреты представляют собой железную проволоку, помещенную внутри баллона, наполненного водородом. Действие баррета основано на свойстве железной проволоки при нагревании менять свое сопротивление (в известных пределах) пропорционально приложенному напряжению. При этом сила тока в цепи будет оставаться приблизительно постоянной.

Барреты применяются в трансляционных усилителях, в усилителях проводной связи для поддержания постоянной силы тока в цепи накала ламп, накал которых питается от аккумуляторов. В этом случае изменение напряжения аккумулятора не будет отражаться на изменении режима работы усилителей.

В некоторых случаях барреты применяются также для измерительных установок и выпрямителей, питаемых от электросети.

Основные данные баррета типа Б-2

Напряжение начала барретирования : $U_{f1} = 5 \text{ в}$
 Напряжение конца барретирования . . $U_{f2} = 9 \text{ в}$
 Ток начала барретирования $I_{f1} = 0,97 \text{ а}$

ок конца барретирования $I_{f2} = 1,03 \text{ а}$
 Полная высота $h = 110 \pm 5 \text{ мм}$
 Наибольший диаметр $d = 46,5 \text{ мм}$
 Максимальное время для установления
 нормального тока 5 мин.

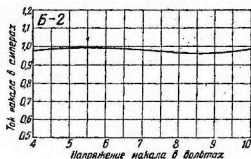


Рис. 11. 100. Зависимость тока накала от напряжения накала для барретера Б-2.

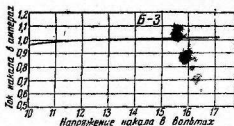


Рис. 11. 101. Зависимость тока накала от напряжения накала для барретера Б-3.

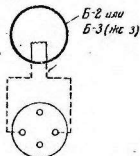


Рис. 11. 102. Система цоколевки барретеров (цоколь стандартный четырехштырьковый).

Характеристика барретера типа Б-2 приведена на рис. 11. 100, система цоколевки — на рис. 11. 102.

Основные данные барретера типа Б-3

Напряжение начала барретирования . . . $U_{f1} = 10 \text{ в}$
 Напряжение конца барретирования . . . $U_{f2} = 17 \text{ в}$
 Ток начала барретирования $I_{f1} = 0,97 \text{ а}$
 Ток конца барретирования $I_{f2} = 1,03 \text{ а}$
 Полная высота $h = 110 \pm 5 \text{ мм}$
 Наибольший диаметр $d = 46,5 \text{ мм}$
 Максимальное время для установления нормального тока 5 мин.

Характеристика барретера Б-3 (или иначе называвшегося ЖС-3) дана на рис. 11. 101; система цоколевки та же, что и для барретера Б-2 (рис. 11. 102).

Цоколевка металлических ламп

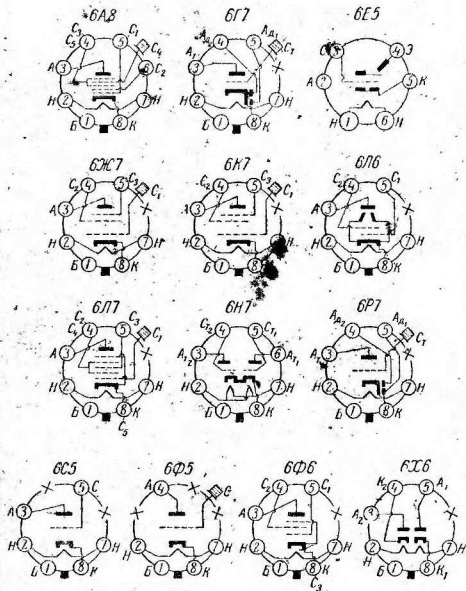


Рис. 11. 103.

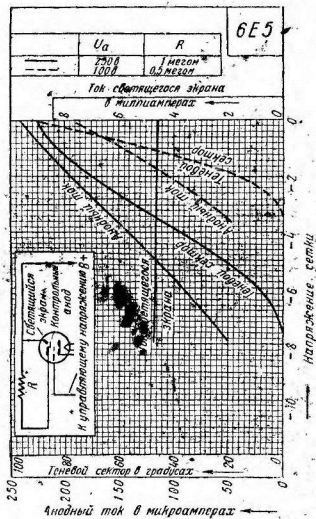


Рис. 11. 104.

Основные данные металлических ламп

Тип	Габарит		Наклад		Типовые параметры				Примечание
	Высота, мм	Диаметр, мм	напряжение, в	тон, а	мощность, вт	крутизна, мк/в	внутреннее сопротивление	коэффициент усиления	добротность
6A8	80	33	6,3	0,3	1,9	$S_{np}=0,5$	0,86	—	—
6Г7	80	33	6,3	0,3	1,9	1,2	0,06	70	84
6E5	108	40	6,3	0,3	1,9	—	—	—	—
6K7	80	33	6,3	0,3	1,9	1,2	1,3	1500	1800
6K7	80	33	6,3	0,3	1,9	1,6	0,6	1000	1600
6J6	110	42	6,3	0,9	5,7	6	0,0225	135	810
6J7	80	33	6,3	0,3	1,9	$S_{np}=0,35$	—	—	—
6H7	83	33	6,3	0,8	5,5	3,2	0,011	35	110
6P7	80	33	6,3	0,3	1,9	1,9	0,0085	16	30
6C5	67	33	6,3	0,3	1,9	2,0	0,01	20	40
6D5	80	33	6,3	0,3	1,9	1,5	0,066	100	150
6X6	88	33	6,3	0,7	4,4	2,6	0,08	200	520
6X6	42	33	6,3	0,3	1,9	—	—	—	—

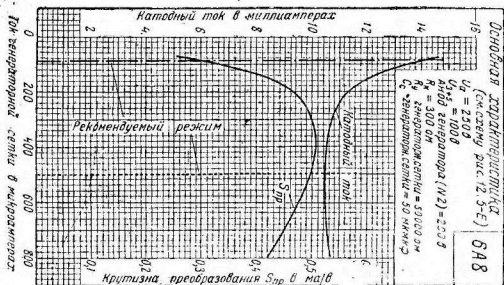


Рис. 11. 106.

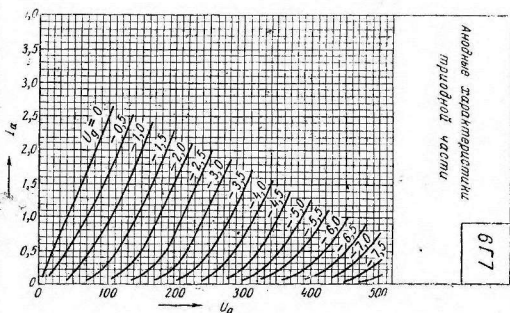
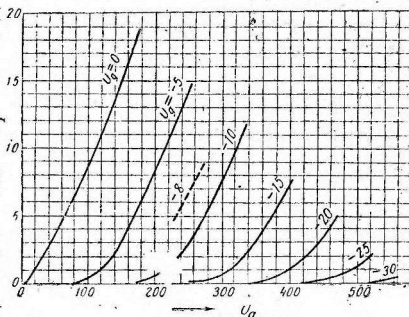


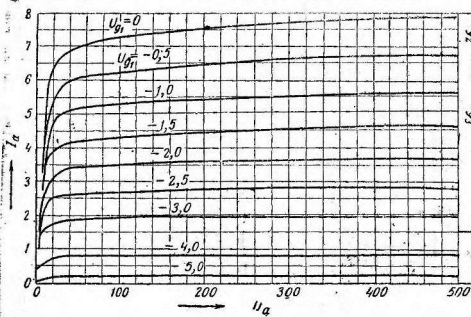
Рис. 11. 107.



Анодные характеристики
для триодного ($a+g+g_2$)
включення

6Ж7

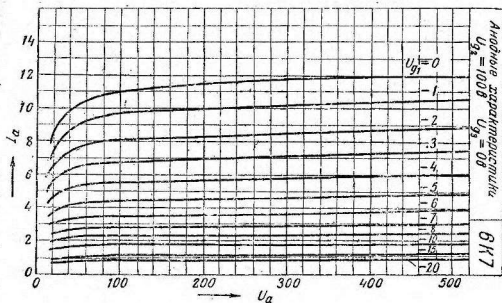
Рис. 11. 108.



Анодные характеристики
 $U_{g2} = 100В$ $U_{g3} = 0В$

6Ж7

Рис. 11. 109.



ис. 11. 110.

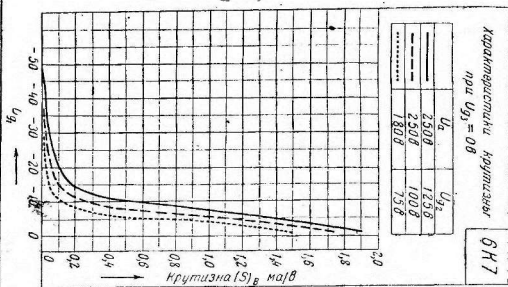


Рис. 11. 111.

Анодные характеристики
триодной части

6P7

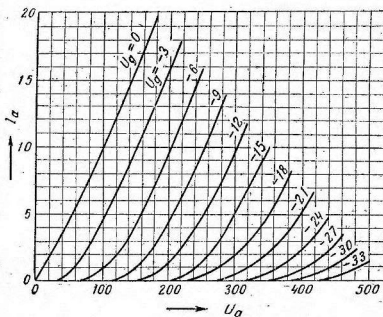
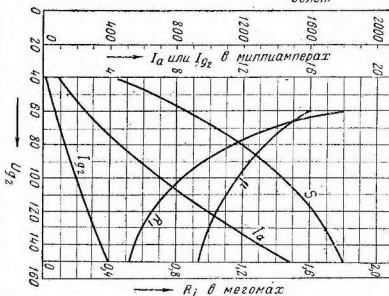


Рис. 11. 112.

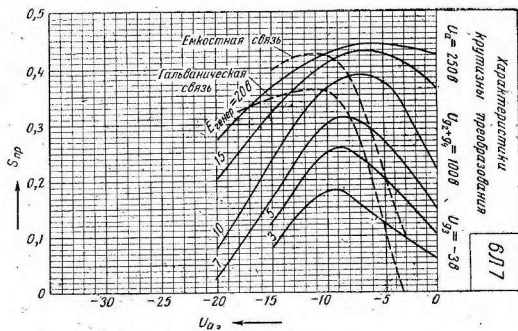
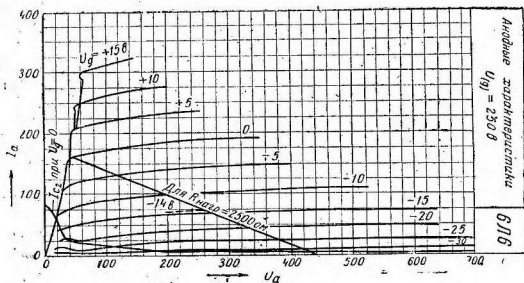
→ μ или S в $\frac{\text{микроамперы}}{\text{вольт}}$



Изменение параметров
для разных U_{g2}
 $U_a = 250\text{В}$ $U_{g1} = -30$ $U_{g3} = 0\text{В}$

6K7

Рис. 11. 113.



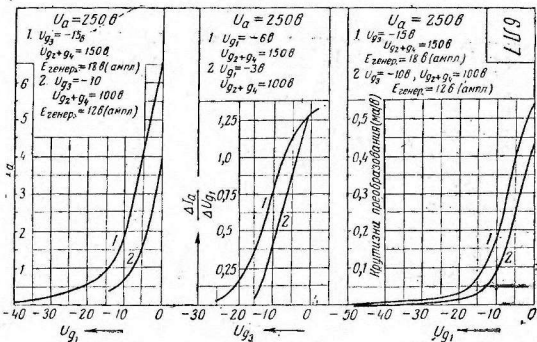


Рис. 11. 116.

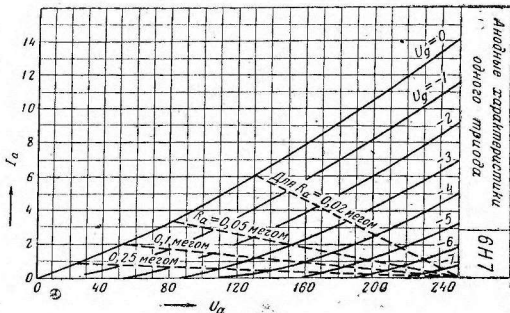


Рис. 11. 117.

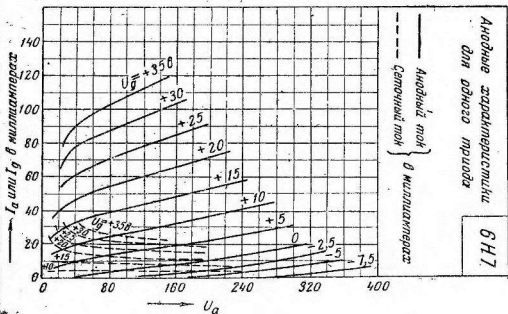


Рис. 11. 118.

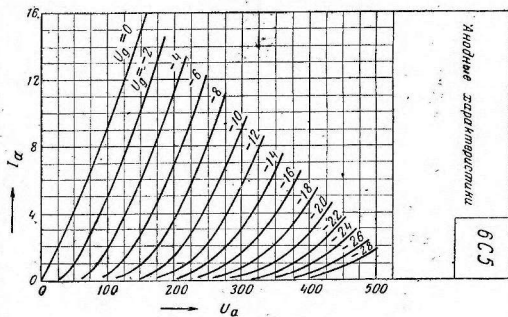


Рис. 11. 119.

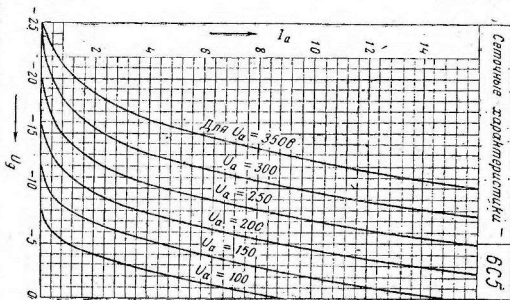


Рис. 11. 120.

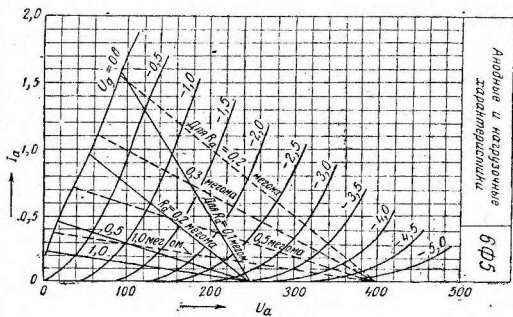


Рис. 11. 121.

6Ф6

Анодные характеристики
Триодное включение

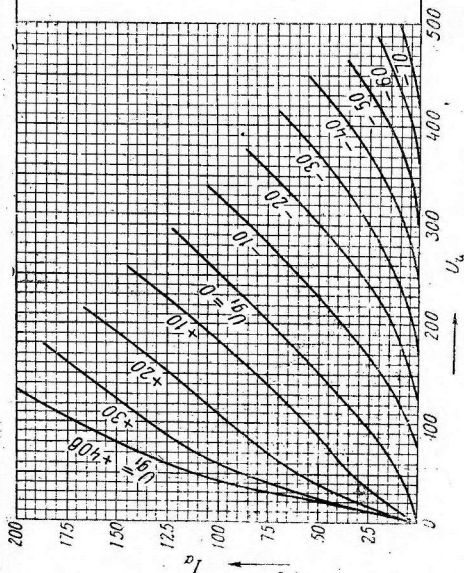


Рис. 11. 122.

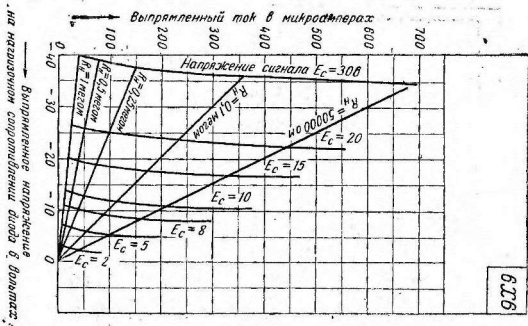


Рис. 11. 123.

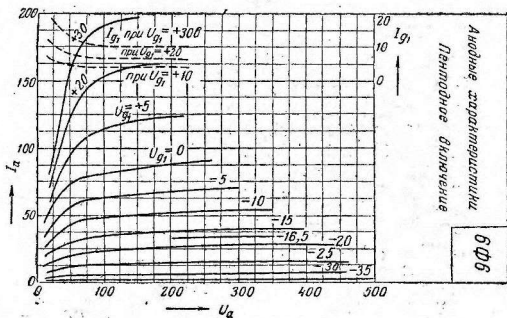


Рис. 11. 124.

ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНАЯ СХЕМА

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Из рассмотрения зависимостей, имеющих место при работе усилительного каскада, получено следующее очень важное для расчетных целей правило.

Работа усилительного каскада равноценна работе генератора соответствующей частоты, имеющего электродвижущую силу μU_g (в μ раз больше напряжения, приложенного к сетке лампы, где μ — коэффициент усиления лампы) и внутреннее сопротивление R_i (внутреннее сопротивление лампы). Этот генератор работает на внешнюю нагрузку, представляющую собой анодную цепь усилителя. В простейшем виде это показано на рис. 12. 1, где налево показан в общем виде усилительный каскад и направо — эквивалентные ему генераторы. Все анодные нагрузки обозначены здесь одним общим выражением Z_a .

Коэффициент усиления любого типа усилительного каскада зависит очень сильно от действующей частоты сигнала. Анализ работы схемы очень удобно производить, составив вспомогательную схему эквивалентного генератора и всех нагрузочных цепей, по которым проходят переменные токи. Источники постоянного тока имеют незначительное внутреннее сопротивление и в эквивалентных схемах обычно не рассматриваются. Рассмотрение схемы производится на основании общих законов переменного тока для сложных цепей, содержащих R , C и L .

Все дополнительные емкости и сопротивления, вносимые лампами, монтажом, элементами нагрузочных цепей, записываются в полную эквивалентную схему и затем в зависимости от рассматриваемой частоты (как это будет вытекать из цифровых соотношений активных и реактивных сопротивлений) превращаются в ничтожно малое сопротивление (короткозамкнутый участок схемы) или, наоборот, в весьма большое сопротивление (разрыв того или иного ответвления схемы).

Схема эквивалентного генератора может быть использована для рассмотрения усилителей как высокой, так и низкой частоты.

Изменения величины анодного тока (его переменная составляющая), производимые подачей на управляющую сетку сигнала напряжением U_g (действующие или амплитудные значения), эквивалентны изменениям тока в цепи генератора с внутренним сопротивлением R_i и сопротивлением нагрузки Z_a при электродвижущей силе генератора, равной $\mu \cdot U_g$ (μ — коэффициент усиления лампы).

П р и м е ч а н и е. Если рассматривать и сдвиги фаз в цепях, то электродвижущую силу эквивалентного генератора надо обозначать через μU_g .

Такая схема эквивалентного генератора и изображена на рис. 12. 1, В. Эта схема носит название генератора постоянного напряжения, равного μU_g . Из рассмотрения схемы рис. 12. 1-В вполне очевидно, что:

полное сопротивление всей цепи равно $R_i + Z_a$, ток в цепи (переменная составляющая анодного тока)

$$i_a = \frac{\mu \cdot U_g}{R_i + Z_a},$$

полезное напряжение на концах нагрузочного сопротивления

$$U_z = i_a \cdot Z_a = \frac{\mu \cdot U_g \cdot Z_a}{R_i + Z_a} = \mu \cdot U_g \frac{\alpha}{\alpha + 1},$$

где α — коэффициент нагрузки, равный $\frac{Z_a}{R_i}$.

Разделив в выражении для i_a и числителя и знаменателя на R_i , получим:

$$i_a = \frac{\mu U_g}{R_i + Z_a} = \frac{\mu}{R_i} \cdot \frac{U_g}{1 + \frac{Z_a}{R_i}} = S U_g \cdot \frac{R_i}{R_i + Z_a}.$$

Напряжение на концах нагрузки $U_z = S U_g \frac{R_i Z_a}{R_i + Z_a}$, где $S = \frac{\mu}{R_i}$ — крутизна лампы. Выражение для U_z показывает, что эквивалентный генератор может быть представлен в виде цепи из параллельно соединенных R_i и Z_a , по которой проходит (переменный) ток.

$$i = S U_g.$$

Подобный тип эквивалентного генератора носит название *генератора постоянной силы тока*; схема его приведена на рис. 12. 1-С.

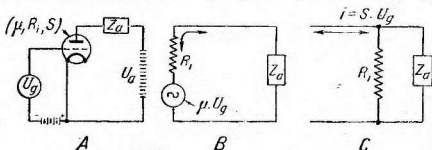


Рис. 12. 1. Принципиальные схемы эквивалентного генератора для усилительного каскада.

Схема А — действительная схема усилительного каскада. Схема В — генератор постоянного напряжения μU_g (нагрузка состоит из последовательно включенных R_i и Z_a). Схема С — генератор постоянной силы тока $S \cdot U_g$ (нагрузка состоит из параллельно включенных R_i и Z_a).

Обе эквивалентные схемы рис. 12. 1-В и рис. 12. 1-С дают совершенно одинаковые результаты при расчетах, отличаясь лишь методом рассмотрения.

■ **Схема** постоянного напряжения наиболее пригодна для расчета схем с триодами.

Для расчетов каскада с пентодом или экранированной лампы, для которых μ и R_i весьма велики, проще пользоваться схемой постоянной силы тока, изображенной на рис. 12. 1-С.

Схемы эквивалентных генераторов не учитывают постоянных составляющих напряжений и токов, имеющих в работе приемно-усилительной схемы лишь вспомогательное значение. Приведенные выше значения i_a и i относятся только к переменной составляющей анодных токов, накладываемых на среднее значение анодного тока (соответствующее току в отсутствии сигнала).

Примечание. Необходимо иметь в виду, что эквивалентные схемы дадут точные результаты лишь в том случае, когда R_i и μ работающей лампы не изменяются для всего диапазона величин сеточных и анодных напряжений и токов, иначе говоря, действительны для прямолинейного участка характеристик.

Практически эквивалентные схемы пригодны для любых расчетов усилительного каскада, так как нелинейные искажения составляют незначительную часть основного сигнала.

СОБСТВЕННЫЕ ШУМЫ ЛАМП

Предел практически осуществимого усиления или, иначе говоря, наименьшая амплитуда усиливаемого сигнала в настоящее время определяется почти исключительно собственными шумами лампы и связанных с лампой цепей. Причин этих шумов несколько; возникают эти шумы в каждом каскаде, однако практически имеет смысл учитывать только шумы первого каскада, усиливаемые в дальнейшем всеми остальными каскадами. Шумы эти обычно равномерно распределены по всему частотному спектру.

Укажем главнейшие источники шумов.

Наиболее заметными являются шумы, создаваемые термодвижением свободных электронов в проводниках входной цепи усилительной лампы. Энергия этих шумов достаточно равномерно распределена по всему частотному диапазону, начиная от постоянного тока и кончая наиболее короткими волнами, используемыми в радиотехнике. Поясним примером: эквивалентное напряжение шумов будет одинаковым как для низкочастотного усилителя, пропускающего полосу от 2000 до 3000 гц , так и для высокочастотного усилителя, передающего полосу от 1 000 000 до 1 001 000 гц .

Напряжение, создаваемое у сетки лампы и эквивалентное уровню шумов, может быть подсчитано по формуле:

$$E = \sqrt{4 \cdot kTRF},$$

где E — напряжение, возникающее у сетки лампы (в вольтах);

k — постоянная Больцмана, равная $1,37 \cdot 10^{-23}$ (джаулей на градус Кельвина);

T — абсолютная температура, при которой работает входной контур лампы (в градусах Кельвина);

R — активная составляющая сопротивления входного сеточного контура (в омах);

F — передаваемая полоса частот, для которой R считается постоянной величиной (в герцах).

Влияние температурных условий мало заметно, так как практически любой приемник и усилитель работают при температурах, колеблющихся

от 0 до 50° Ц, причем эти изменения температуры изменяют уровень шумов весьма незначительно.

Таким образом, приняв рабочую температуру условно равной 300° К (или + 27° Ц) и объединив постоянные коэффициенты, можно преобразо-

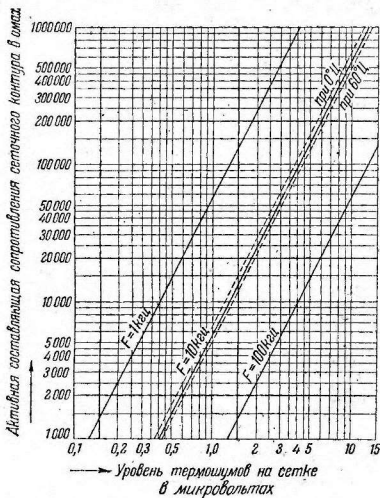


Рис. 12. 2. Эквивалентное напряжение шумов у сетки, создаваемых термодвижением электронов в проводе сеточного контура.

Кривые составлены для температуры 27° Ц. Малое влияние температуры указано пунктирными линиями для $F=10$ кГц при $t=0^\circ$ Ц и 60° Ц. F — учетная ширина диапазона, пропускаемого сеточным контуром ($F=f_{\max}-f_{\min}$).

вать приведенную выше формулу к виду, более удобному для практического пользования:

$$E = \frac{\sqrt{R F}}{250},$$

где E — напряжение шума в микровольтах,
 R — активное сопротивление контура в омах,
 F — пропускаемая полоса частот в килогерцах.

Для быстрых расчетов удобно пользоваться графиком рис. 42. 2, составленным для отдельных круглых значений пропускаемых частот (1; 10 и 100 кГц). Незначительность влияния рабочей температуры можно объяснить из трех линий для полосы частот $F = 10$ кГц. Сплошная линия дана для температуры 27°C , левый пунктир относится к температуре 0°C , правый — к температуре 60°C . Разница в 60°C , как видно, вносит весьма незначительное изменение уровня шумов на сетке.

Второй причиной, вызывающей собственные шумы в усилительном каскаде, является дробовой эффект (иначе называемый «шот-эффектом» или «шрот-эффектом»), вызываемый тем, что анодный ток образуется движением отдельных электронов. Несмотря на большое число электронов, принимающих участие в этом движении, существует некоторая неравномерность в силе анодного тока, вызывающая некоторое дополнительное напряжение на анодной нагрузке и, в конечном итоге, шум на выходе усилителя. Это явление аналогично падению града на железную крышу: несмотря на большое количество частиц, ударяющихся о железо, неравномерность их ударов вызывает определенный шум — дробовой эффект.

На анодной нагрузке усилительной лампы образуется эквивалентное напряжение дробового эффекта, величина которого может быть приближенно определена по следующей формуле:

$$E = \frac{Z \sqrt{IF}}{1780},$$

где E — напряжение (на анодной нагрузке) в микровольтах,
 Z — активная составляющая анодного сопротивления в омах,
 I — сила анодного тока в миллиамперах,
 F — пропускаемая полоса частот в килогерцах.

Примечания. 1. Формула справедлива также и для того случая, если I выражено в амперах, а F при этом — в герцах.

2. Наличие пространственного заряда в лампе уменьшает напряжение дробового эффекта (по сравнению с формулой) примерно вдвое.

Для быстрых приближенных расчетов можно пользоваться графиком рис. 12. 3, охватывающим пределы, встречающиеся в практической радиотехнике.

Эквивалентное анодное напряжение дробового эффекта может быть приведено к эквивалентному сеточному напряжению (для той же лампы) делением на коэффициент усиления рассматриваемого усилительного каскада.

Пример. Усилительный каскад работает на лампе, имеющей анодный ток в 10 мА. Анодный контур имеет активную составляющую 50 000 ом и рассчитан на пропуск полосы в 10 кГц; найти эквивалентное напряжение дробового эффекта.

Решение. Произведение $I \times F = 100$ (мА · кГц), поэтому пользуемся линией С рис. 12. 3. Для сопротивления анодной нагрузки $Z = 50\,000$ ом напряжение дробового эффекта составит около 280 мкВ. Если данный каскад имеет коэффициент усиления 70, то эквивалентное сеточное напряжение дробового эффекта будет соответствовать $280 : 70 = 4$ мкВ.

Приводим в табл. 12. 1 и 12. 2 данные измерения шумов различных ламп, произведенного в ИРПА (Ленинградском институте радиоприема и акустики). К сожалению, в таблице (помещена в книге Е. А. Левитина «Приемно-усилительные лампы») не полностью указаны все условия, при которых производились измерения.

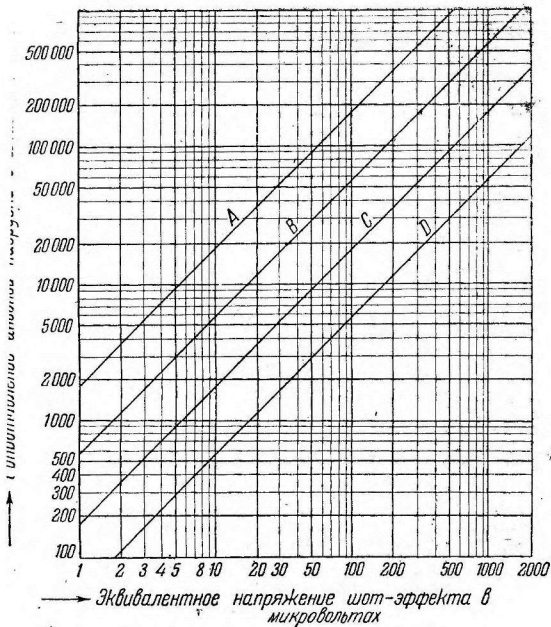


Рис. 12. 3.

Кривая A для значений $I \times F = 1$ (ма $\times$ кгц)
 " B " " " $I \times F = 10$ (ма $\times$ кгц)
 " C " " " $I \times F = 100$ (ма $\times$ кгц)
 " D " " " $I \times F = 1000$ (ма $\times$ кгц)

Здесь I — сила анодного тока в миллиамперах, F — пропускная полоса частот в килогерцах.

Таблица 12.1

Тип лампы	Режим			Эквивалентное напряжение шумов на сетке в Δf при полосе в 1 кГц
	U_a в	$U(g)$ в	U_g в	
УО-104	240	—	—35	1,3
УБ-107	120	—	—2	0,825
УБ-107	80	—	0	0,44
ПБ-108	80	—	0	0,88
УБ-110				
СБ-112	160	80	—1	1,55
СО-118	240	—	—1	0,23
ПО-119	240	—	—10	0,59
СО-122	240	140	—11	0,7
СО-124	160	60	—1	0,63
УБ-132	160	—	—8	0,5
ТО-143	220	—	—35	0,7
СБ-147	160	60	—1	0,38
СО-148	160	60	—1	0,68
УБ-152	80	—	—1	0,56
СБ-154	120	60	—1	0,91
СБ-155	120	100	—4	0,43
СО-182	240	100	—1	0,21
СО-187	250	250	—6	0,31
СО-193	240	120	—4	0,47
СО-193	240	20	—1	0,05
6С5	250	—	—8	0,60
6Ф5	250	—	—2	0,23
6Ж7	250	100	—3	0,42
6К7	250	125	—3	0,61
6Г7	250	—	—3	0,33

Американские
металлические

Таблица 12.2

Пентагриды	U_a	U_{ar}	$U(g)$	$U_{гус}$	U_{gr}	
СО-183	240	160	100	—3	—10	1,6
6А8	250	200	100	—3	—10	5,44
6Л7	250	—	150	—6	—15	3,55

Американские ме-
таллические

При сравнительной оценке разных типов ламп следует иметь в виду следующие соображения: а) величина шумов пропорциональна отношению анодного тока к крутизне характеристики в рабочей точке, т. е. выгодно использовать лампы с малым анодным током и с большой крутизной характеристики, б) шумы тем сильнее, чем больше в лампе сеток, находящихся под положительным потенциалом.

ПЕРЕКРЫТИЕ ДИАПАЗОНА ОДНИМ ПЕРЕМЕННЫМ КОНДЕНСАТОРОМ

Как легко убедиться из рассмотрения формулы Томсона, перекрытие диапазона, т. е. отношение максимальной длины волны (или частоты) к минимальной, зависит при неизменной катушке от отношения максимальной емкости контура к минимальной. Зависимость выражается следующей формулой:

$$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} = \sqrt{\frac{C_0 + C_{\max}}{C_0 + C_{\min}}},$$

здесь

- $\lambda_{\max}$ и $\lambda_{\min}$ — максимальная и минимальная длины волн, получаемых при изменении емкости переменного конденсатора,
- $f_{\max}$ и $f_{\min}$ — максимальная и минимальная частоты,
- $C_{\max}$ — полная максимальная емкость контура,
- $C_{\min}$ — полная минимальная емкость контура,
- $C_{\max}$ и $C_{\min}$ — максимальная и минимальная емкости самого переменного конденсатора,
- C_0 — неизменная емкость схемы (емкость монтажа, катушки, ламповых цепей).

В этой формуле все величины входят в виде отношений, поэтому безразлично, в каких единицах эти величины будут выражены (важно лишь, чтобы однородные величины были даны в одинаковых единицах).

Максимальная емкость $C_{\max}$ переменного конденсатора обычно имеет (номинально) одно из следующих значений: 125, 150, 250, 450, 600, 750 см или мкмкф.

Минимальная (начальная) емкость переменного конденсатора составляет обычно 10—15 см. Обе эти емкости известны заранее и изменены быть не могут.

Как видно из приведенной формулы, увеличить перекрытие $\left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \right)$

можно в основном только уменьшив монтажную емкость C_0 (увеличение $C_{\max}$ увеличивает перекрытие, но это не всегда полезно). Эта емкость C_0 в известных пределах поддается уменьшению за счет лучшего монтажа (короткие, отдаленные друг от друга соединительные провода, правильное расположение отдельных деталей) и меньшей собственной емкости катушки (выбором формы намотки витков, соответствующей изоляцией проводов). Настроить катушку на более короткую волну, чем это позволяет (в соответствии с формулой Томсона) собственная емкость катушки и емкость соединительных проводов, невозможно.

Рассчитать емкость монтажа соединительных проводов и собственную емкость катушки довольно трудно, поэтому в практических условиях при определении необходимой индуктивности катушки приходится исходить из следующих примерных (выработанных практикой) данных:

начальная емкость конденсатора	10—15 см
емкость лампы (междуэлектродная, цоколя и панельки)	10—20 »
емкость монтажа и соединительных проводов	10—15 »

собственная емкость однослойной катушки	3—5 см
собственная емкость многослойной катушки	от 20 до 40 см
(сотовые катушки малых габаритов с намоткой типа «Универсаль» имеют емкость в 5—10 см)	

Полная начальная емкость схемы $C_0 = C'_{\min} - C_{\min}$ может составлять таким образом, от 40 до 80 см. Эта довольно большая величина и является базой для расчета перекрытия. Если предел составляющих емкостей при первоначальном расчете не может быть указан, то расчет можно вести, исходя из средней цифры начальной емкости контура $C_0 = 50$ см.

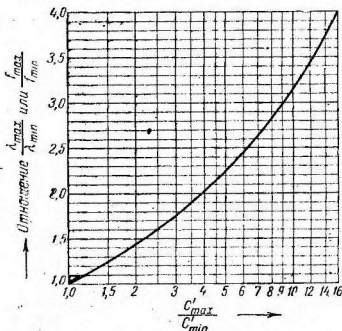


Рис. 12. 4. График для определения перекрытия диапазона в зависимости от отношения максимальной емкости контура к минимальной.

График рис. 12. 4 показывает, как изменяется перекрытие диапазона в зависимости от отношения максимальной емкости контура к минимальной.

УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

За исключением телевизионных усилителей высокочастотные усилители являются (в отличие от низкочастотных) настроенными усилителями, рассчитанными на пропуск возможно более узкой полосы частот. Эти требования позволяют получить сравнительно большое усиление на каскад при большой избирательности, соответствующей избирательности обычной резонансной кривой настроенного контура. Настроенный тип усилительного

каскада высокой частоты позволяет использовать для настройки контура монтажные и внутриламповые емкости, обычно являющиеся весьма вредными (уменьшающими усиление и искажающими частотную характеристику). Без настроенной нагрузки эти паразитные емкости сделали бы усиление на высоких частотах почти невозможным.

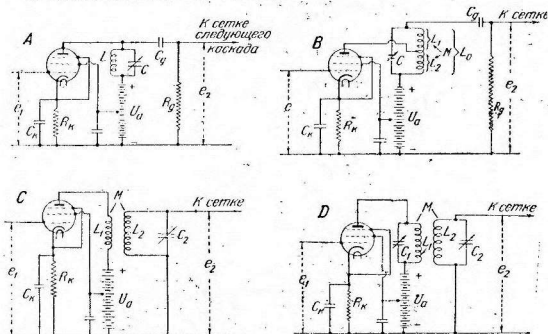


Рис. 12. 5. Типовые схемы усилительных каскадов высокой частоты на пентодах.

A—каскад с настроенным анодным контуром, B—автотрансформаторная связь, C—трансформаторный каскад, D—трансформаторный каскад с полосовым фильтром.

Практически усилители высокой частоты выполняются в настоящее время исключительно на пентодах высокой частоты или на тетродах (экранированных лампах). На рис. 12. 5 показаны основные типы настроенных усилительных каскадов высокой частоты.

Каскад с настроенным анодом

Типовая схема каскада с настроенным анодом показана на рис. 12. 5-A. Эквивалентная схема этого каскада дана на рис. 12. 6 (генератор постоянной силы тока). При разборе эквивалентной схемы следует иметь в виду: 1) емкость переходного конденсатора C_d обычно достаточно велика, поэтому емкостное сопротивление его делается настолько малым, что им вполне можно пренебречь; 2) паразитные (монтажные и внутриламповые) емкости C' и C'' в данной схеме достаточно безвредны, так как они объединяются с основной емкостью настройки; влияние их сказывается лишь на сокращении перекрытия рабочего диапазона (если C в схеме переменна); 3) внутреннее сопротивление лампы R_l и сопротивление утечки сетки R_g являются в схеме включенными параллельно с настроенным контуром и приводят к умень-

шению добротности D этого контура; это влияние тем меньше, чем больше отношения $\frac{R_i}{Z}$ и $\frac{R_g}{Z}$.

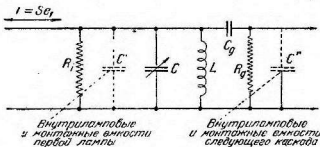


Рис. 12. 6. Эквивалентная схема усилительного каскада рис. 12. 5-А. Переходной конденсатор C_g в расчеты не включается, так как его сопротивление (емкостное) при радиочастотах ничтожно мало.

Напряжение на концах анодной нагрузки может быть определено через

$$U_z = e_z = S \cdot e_1 \cdot Z_0,$$

где e_z — напряжение на нагрузочной цепи,
 S — крутизна лампы,
 e_1 — напряжение, подаваемое на сетку первой лампы,
 Z_0 — полное сопротивление, образованное параллельно включенным настроенным контуром, сопротивлением утечки сетки и внутренним сопротивлением лампы.

Из этой формулы легко получить коэффициент усиления данного каскада:

$$K = \frac{e_z}{e_1} = S \cdot Z_0.$$

(S выражено через a/δ и Z_0 — в омах).

При изменении рабочей частоты коэффициент усиления будет изменяться

кривая имеет форму резонансной кривой контура, обладающего добротностью D , несколько меньшей действительной добротностью контура CL .

(см. рис. 12. 7) по кривой, аналогичной резонансной кривой, однако соответствующей несколько меньшей добротности, чем имеющаяся у самого контура. Резонансная частота будет соответствовать настраивающей емкости, являющейся суммой C , C' и C'' .

$R_i = 3 \text{ мегома}$
 $R_g = 1 \text{ мегома}$
 $L = 160 \text{ мкГн}$
 $D = 50$
 $S = 10 \text{ ма/в}$
 $f_{рез} = 1000 \text{ кгц}$

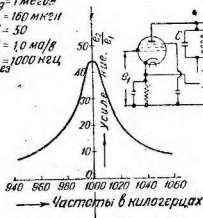


Рис. 12. 7. Изменение коэффициента усиления усилительного каскада с настроенным анодом в зависимости от частоты.

Доброкачество контура $D = \frac{\omega L}{r} = \frac{2}{\omega L}$.

Примечание. В удобных для вычислений единицах

$$\omega L = \frac{1885 \cdot L_{\text{мкГн}}}{\lambda_{\text{м}}} = \frac{f_{\text{кГц}} \cdot L_{\text{мкГн}}}{160}$$

(единицы указаны индексами).

Сопrotивление настроенной цепи при резонансной частоте равно $Z = \omega L D$. Подставляя эту величину в формулу коэффициента усиления каскада, получим при резонансе

$$K = \frac{e_2}{e_1} = \frac{S \omega L D}{1 + \frac{\omega L D}{R_i} + \frac{\omega L D}{R_g}}$$

Обычно R_i и R_g намного больше $\omega L D$, поэтому практически с достаточным приближением расчет можно вести по упрощенной формуле при резонансе $K = \frac{e_2}{e_1} = S \omega L D$ (в основных единицах).

Эффективная доброкачество настроенной цепи вследствие присоединенных параллельно R_i и R_g будет меньше действительной в соотношении

$$\frac{D_{\text{эф}}}{D_{\text{конт}}} = \frac{1}{1 + \frac{\omega L D}{R_i} + \frac{\omega L D}{R_g}}$$

Каскад с автотрансформаторной связью

Типовая схема усилительного каскада с автотрансформаторной связью дана на рис. 12. 5-В. Практически эта схема получается присоединением анода к отводу от некоторого среднего витка настроенного анодного контура, причем расчет усложняется наличием взаимной индуктивности M между отдельными частями катушки L_1 и L_2 .

Для схемы рис. 12. 5-В коэффициент усиления пентодного ($R_i \gg Z$) каскада при резонансной частоте определится через

$$K = \frac{e_2}{e_1} = S \cdot \frac{\omega^2 (L_1 + M) L_0}{r_0} = S \omega (L_1 + M) D,$$

где S — крутизна лампы в a/ϕ ,

$\omega = 2\pi f$ (f — в герцах),

L_1 , M и L_0 — в генри (указаны на схеме рис. 12. 5-В),

r_0 — активное сопротивление всей катушки в омах,

D — доброкачество контура ($D = \frac{\omega L_0}{r_0}$).

Трансформаторный каскад

Типовая схема трансформаторного каскада дана на рис. 12. 5-С.

Точный расчет каскада с учетом внутриламповых и внутритрансформаторных емкостей достаточно сложен.

Практически индуктивность первичной обмотки L_1 делается не слишком большой и коэффициент связи между обмотками не слишком малым. В этих условиях «паразитные» емкости не оказывают заметного влияния на работу каскада (кроме того, что увеличивают величину настраивающей емкости), и трансформаторный каскад может быть изображен схемой эквивалентного генератора, показанного в двух вариантах на рис. 12. 8 и 12. 9. Кривая усиления такого каскада по форме соответствует форме резонансной

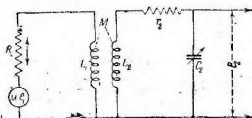


Рис. 12. 8. Эквивалентная схема трансформаторного каскада (типа постоянного напряжения).

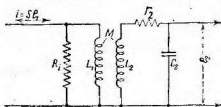


Рис. 12. 9. Эквивалентная схема трансформаторного каскада (типа постоянной величины тока).

кривой контура с добротностью, несколько меньшей добротности вторичной обмотки, включающей L_2 , r_2 и C_2 .

При резонансной частоте

$$K = \frac{e_2}{e_1} = \frac{S\omega M D_2}{1 + \frac{(\omega M)^2}{R_1 r_2}}.$$

(все в основных единицах)

В обычных схемах подобные усилительные каскады выполняются на пентодах при весьма большой рабочей величине внутреннего сопротивления. В этом случае достаточную точность дает и упрощенная формула:

$$K = \frac{e_2}{e_1} \approx S\omega M D.$$

Избирательность каскада определяется эффективным значением D , меньшим действительной добротности контура:

$$\frac{D_{эф}}{D_{конт}} = \frac{1}{1 + \frac{(\omega M)^2}{R_1 r_2}}.$$

Можно считать, что при работе каскада с высокочастотным пентодом добротность $D_{эф}$, определяющая кривую избирательности, совпадет с действительной добротностью контура:

$$D_{эф} \approx D_{конт} = \frac{\omega L_2}{r_2},$$

Уменьшение добротности вторичной обмотки может быть подсчитано в соответствии с теорией связанных цепей, по которой активное

сопротивление r_2 вторичной обмотки увеличивается до величины

$$r_2' = r_2 + \frac{(\omega M)^2}{R_1}.$$

Условие максимального усиления трансформаторного каскада требует выполнения равенства

$$r_2 = \frac{(\omega M)^2}{R_1},$$

иначе

$$M = \frac{\sqrt{R_1 r_2}}{\omega}.$$

Однако в пентодных каскадах это условие никогда не выполняется, так как при этом величина M , а следовательно, и L должны были бы быть весьма значительными, что практически нецелесообразно (вызовет неустойчивость работы усилителя и, кроме того, конструктивно намотать катушку с очень большой индуктивностью невозможно без значительного увеличения собственной емкости обмотки).

Трансформаторный каскад с полосовым фильтром

В усилителях промежуточной частоты наиболее часто применяется схема полосового фильтра, приведенная на рис. 12.5-D.

Оба контура ($L_1 C_1$ и $L_2 C_2$) настраиваются на одну и ту же частоту. При этой частоте коэффициент усиления каскада

$$K_{\text{рез}} = \frac{e_2}{e_1} = S k \frac{\omega \sqrt{L_1 L_2}}{k^2 + \frac{1}{D_1 D_2}},$$

где S — крутизна лампы в $a/\text{в}$,

ω — рабочая (резонансная) частота; $\omega = 2\pi f_{\text{рез}}$, где $f_{\text{рез}}$ — в килогерцах,

L_1 — индуктивность первичной обмотки в генри,

L_2 — индуктивность вторичной обмотки в генри,

k — коэффициент связи между L_1 и L_2 ,

D_1 — добротность первичной обмотки с учетом шунтирующего действия внутреннего сопротивления лампы

$$\left(D_1 = \frac{\omega L_1}{r_1 + \frac{\omega^2 L_1^2}{R_1}} \right),$$

D_2 — добротность вторичной обмотки ($D_2 = \frac{\omega L_2}{r_2}$).

Максимальный коэффициент усиления каскада получается при критическом значении коэффициента связи между обмотками

$$K = \frac{1}{\sqrt{D_1 D_2}};$$

при этом усиление будет равно

$$K_{\text{max}} = \frac{e_2}{e_1} = S \frac{\omega \sqrt{L_1 L_2} \sqrt{D_1 D_2}}{2}.$$

Если первичная и вторичная обмотки одинаковы, а внутреннее сопротивление лампы и сопротивление утечки достаточно велики, то каскад при этом даст усиление, равное половине усиления, получаемого при той же лампе с одним настроенным контуром (при схеме рис. 12. 5-А).

Если коэффициент связи превышает критическое значение, кривая коэффициента усиления каскада делается двугорбой.

Кривая избирательности при большей величине расстройки подсчитывается по следующим формулам:

I. Для каскада с настроенным анодом (рис. 12. 5-А):

$$\frac{K_{\text{расстр}}}{K_{\text{max}}} = \frac{1}{D_{\text{эф}}(1 - m^2)}$$

II. Для каскада с полосовым фильтром (рис. 12. 5-Д):

$$\frac{K_{\text{расстр}}}{K_{\text{max}}} = \frac{2k^2}{m(1 - m^2)^2}$$

где k — коэффициент связи между обмотками,

m — отношение между действующей частотой и резонансной,

$D_{\text{эф}}$ — добротачественность настроенной цепи с учетом шунтирующего действия внутреннего сопротивления лампы.

При значениях k больше критического $\left(k > \frac{1}{\sqrt{D_1 D_2}}\right)$ и одинаковых данных двух связанных контуров кривая избирательности превращается в полосовой фильтр, причем ширина этой полосы частот (считая между частотами горбов) будет приблизительно равна

$$\Delta = f_2 - f_1 = \frac{\sqrt{X_m^2 - r^2}}{2L},$$

где Δ — ширина полосы между горбами в герцах,

r — активное сопротивление каждого контура ($r_1 = r_2 = r$) в омах,

X_m — реактивное сопротивление связи (общее для обеих цепей) в омах,

L — индуктивность цепей ($L_1 = L_2 = L$) в генри.

На рис. 12. 10 представлены различные типы связи, применяемые как в преселекторе (полосовой фильтр между антенной и сеткой первой лампы), так и в междукаскадных цепях. При неизменной рабочей частоте (например, в усилителе промежуточной частоты) ширина полосы пропускания вычисляется по приведенной выше формуле. При работе же в настраиваемых контурах (конденсаторы C и C во всех схемах рис. 12. 10 — переменные) ширина полосы изменяется по диапазону, как это и изображено на характеристиках передачи под каждой схемой этого рисунка. Особый интерес представляет схема с рис. 12. 10 со смешанной связью между контурами. Для этой схемы производится по следующим формулам:

$$X_{m_n} = \pm \sqrt{r_n^2 + 4\pi^2 L^2 \Delta^2},$$

где r — активное сопротивление каждого контура в омах,

L — полная индуктивность каждой ветви в генри,

Δ — ширина пропускаемой полосы в герцах,

n — индекс расчетной частоты,

X_{m_n} — общее для обеих цепей реактивное сопротивление в омах.

По данной формуле подсчитывается X_m для двух граничных частот (f_H — нижней и f_B — верхней). По этим двум значениям X_m находятся значения M и C_m , удовлетворяющие заданию (постоянной ширине пропускаемой полосы частот):

$$M = \frac{X_{mH} f_H - X_{mB} f_B}{2\pi (f_B^2 - f_H^2)};$$

$$C_m = \frac{f_H^2 - f_B^2}{2\pi f_H f_B (X_{mB} f_H - X_{mH} f_B)}.$$

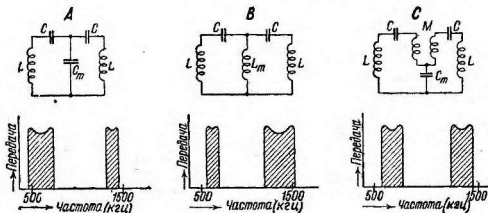


Рис. 12. 10. Схемы контуров преселектора полосового типа.

А — емкостная связь, В — индуктивная связь, С — смешанная связь с постоянной полосой пропускания.

Например, для средневолнового диапазона типовыми величинами являются:

$$f_B = 1500 \text{ кГц},$$

$$f_H = 500 \text{ кГц},$$

$$r_B = 50 \text{ ом},$$

$$r_H = 10 \text{ ом},$$

$$L = 200 \text{ мкГн},$$

$$\Delta = 10 \text{ кГц},$$

для которых $M = 3,2 \text{ мкГн}$, $C_m = 0,06 \text{ мкФ}$.

В последние три формулы все величины подставляются в основных единицах, а не в единицах, указанных в примере. Индуктивная связь M должна быть в этой схеме [рис. 12. 10-С] «отрицательной», т. е. действовать дополнительно с емкостной, получаемой от C_m . Конструктивно это осуществляется намоткой катушек связи M из двух параллельно накладываемых на каркас проводов. «Начала» этих двух обмоток соединяются с конденсаторами C и C , «концы» обмоток соединяются вместе и присоединяются к конденсатору связи C_m .

Устойчивое усиление резонансного усилителя

Если в цепи сетки резонансного каскада включен также настроенный контур, то при определенных условиях может возникнуть самовозбуждение каскада, так как анодная и сеточная цепи имеют связь через внутриэлектродную емкость сетка—анод (практически связь больше, так как при недостаточности экранировки могут существовать еще непосредственные связи между цепями как индуктивного, так и емкостного характера).

Теоретически максимальное значение устойчивого усиления резонансного каскада на пентоде или экранированной лампе ($R_L \gg Z$) составляет:

$$K_{\text{пред}} \leq \sqrt{\frac{2S}{\omega C_{\text{аг}} A}},$$

где $K_{\text{пред}}$ — предельное усиление каскада;

S — крутизна лампы в a/ϕ ,

$\omega = 2\pi f$, где f — частота в герцах,

$C_{\text{аг}}$ — емкость управляющая сетка—анод (в фарадах),

A — запас устойчивости; при $A = 1$ получается теоретически возможное предельное усиление; обычно A берется в пределах 3—5 и даже больше.

Если усилитель имеет несколько последовательно работающих резонансных каскадов, то предельное усиление на каскад снижается при любом числе каскадов

$$K_{\text{пред}} \leq \sqrt{\frac{S}{\omega C_{\text{аг}} A}}.$$

Обозначения те же, что и в первой формуле.

ОСОБЕННОСТИ СУПЕРГЕТЕРОДИННОЙ СХЕМЫ

Супергетеродинная схема в настоящее время является, можно сказать, единственным типом схемы, применяемой как в радиовещательных, так и профессиональных приемных устройствах. Причины этого: основное усиление производится в супергетеродине на постоянной (промежуточной) частоте, что позволяет ее отрегулировать (только один раз, при выпуске приемника) с желаемой характеристикой по чувствительности, избирательности и полосе пропускания. Эти качества остаются неизменными при приеме любой длины волны. Промежуточная частота выбирается такой, чтобы каскады работали совершенно устойчиво, давали достаточно большое усиление и не требовали бы излишней экранировки каскадов и отдельных деталей. Предварительное усиление высокой частоты играет лишь вспомогательную роль при превращении рабочего сигнала любой частоты в постоянную промежуточную частоту.

Выбор промежуточной частоты

Промежуточная частота должна выбираться в таком диапазоне, где имеется наименьшее количество помех со стороны нежелательных радиотелеграфных станций линий профессиональной связи. Чем меньше промежуточная частота, тем легче получить устойчивость усиления и более острую избирательность. Однако выбирать промежуточную частоту для каждого приемника в зависимости от района его использования было бы весьма нецелесообразно при массовом выпуске приемников. Можно считать, что в настоящее время существует две группы супергетеродинов, отличающихся промежуточной частотой:

1) супера, не имеющие коротковолновых диапазонов, могут иметь промежуточную частоту в 170—175 кГц;

2) супера всеволнового типа, работающие при промежуточной частоте 450—470 кГц. Американские радиоприемники, независимо от количества рабочих диапазонов, выпускаются обычно с промежуточной частотой 450—470 кГц;

Трансформаторы с промежуточной частотой 450—470 кГц обычно имеют магнетивный сердечник и конструкцию, описанную на стр. 233—235.

Объединение управления настройкой на одной оси

Этот вопрос является одной из наиболее сложных по расчету особенностей супергетеродинной схемы. Емкости переменных конденсаторов на-

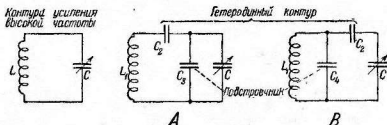


Рис. 12. 11. Системы выравнивания гетеродинного контура для супера.

Подстроечник может включаться или параллельно конденсатору настройки (C_3), или параллельно катушке (C_4). Собственная емкость катушки и емкость монтажа для приближенных расчетов считаются объединенными с емкостью переменного конденсатора настройки C .

стройки высокочастотного и гетеродинного каскадов должны быть таковы, чтобы при любом положении шкалы переменного конденсатора разность частот настройки этих контуров составляла по возможности точно одну и ту же величину. Производство конденсаторов, имеющих в разных секциях пластины специальной формы, оказалось весьма сложным, и в настоящее время единственным решением является применение одинаковых секций, причем включение гетеродинной секции производится с помощью дополнительных выравнивающих параллельных и последовательных постоянных конденсаторов. Окончательная подгонка производится подстройкой полупеременных подстроечных конденсаторов небольшой емкости. Такое решение вопроса теоретически дает несколько изменяющуюся разность частот (совпадение с нужной частотой может быть только в трех точках каждого диапазона), однако разница настолько незначительна, что практически приемники дают полную избирательность и чувствительность непрерывно по всему диапазону.

Наиболее часто применяются схемы выравнивания, изображенные на рис. 12. 11. Выравнивающие параллельные конденсаторы C_3 и C_4 (обычно полупеременные) могут присоединяться или параллельно катушке или параллельно переменному конденсатору настройки. Постоянная емкость схемы (лампы, монтажа, собственная емкость катушки) для приближенного расчета может быть объединена с емкостью переменного конденсатора настройки.

На рис. 12. 12, 12. 13 и 12. 14 дан графический метод расчета выравнивающих конденсаторов. Эти три графика имеют по две шкалы абсцисс:

нижняя шкала относится к частному случаю расчета на диапазон 550—1500 кГц; в этом случае шкала указывает непосредственно промежуточную частоту в килогерцах. Для других диапазонов используется верхняя шкала, указывающая отношение промежуточной частоты к средней частоте перекрываемого рабочего диапазона.

Кривая I рис. 12. 12 дает индуктивность катушки гетеродинного контура в виде отношения к индуктивности (известной из общего расчета контура)

$$\frac{L_{гет}}{L_{ср}} = \frac{\text{Промежуточная частота}}{\text{Средняя рабочая частота}}$$

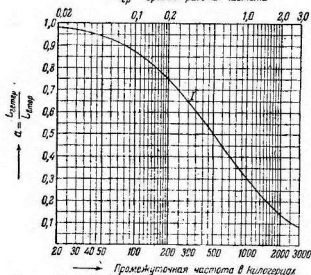


Рис. 12. 12. Расчет одноручечного управления супергетеродином.

Кривая I — отношение между индуктивностями гетеродинной и высококачественной катушек. Нижняя абсцисса имеет шкалу промежуточных частот при диапазоне приемника 550—1500 кГц. При других диапазонах надо пользоваться шкалой верхней абсциссы.

и 12. 14. Соотношение индуктивностей (кривая I, рис. 12. 12) не зависит от величины максимальной емкости контуров.

Аналитический расчет величины емкостей выравнивающих конденсаторов может быть произведен различными методами, требующими довольно много вычислительной работы. Приводим наиболее простой метод.

I. Для схемы (рис. 12. 11) включения выравнивающего конденсатора (подстроечника) параллельно с переменным конденсатором настройки:

$$C_2 = C_0 f_0^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{f^2} \right);$$

$$C_3 = \frac{C_0 f_0^2}{f^2};$$

$$L_1 = L \frac{1}{m} \left(\frac{C_2 + C_3}{C_2} \right).$$

контуров высокочастотных каскадов (предварительного усиления). По кривой II (рис. 12. 13) находится емкость параллельного выравнивающего конденсатора C_3 или C_4 . Последовательная емкость (конденсатор C_2) определяется по кривой III рис. 12. 14.

Сплошные линии II и III относятся к тому случаю, когда максимальная емкость контуров C (являющаяся суммой максимальной емкости переменного конденсатора и емкости схемы) равна 400 мкмкф. Для других значений максимальной емкости полученные из кривых II и III значения выравнивающих емкостей должны быть пропорционально изменены. Например, для максимальной емкости 500 мкмкф значения выравнивающих емкостей будут определяться уже пунктирными линиями на рис. 12. 13

II. Для схемы (рис. 12. 11) включения выравнивающего конденсатора (подстроечника) параллельно с катушкой:

$$C_2 = \frac{C_0 f_0^2}{n^2};$$

$$C_4 = \frac{C_0 f_0^2}{(f^2 - n^2)};$$

$$L_1 = L \left(\frac{f}{m} \right)^2 \left(\frac{C_2}{C_2 + C_4} \right).$$

$$\rightarrow \frac{f_{\text{пр}}}{f_{\text{ср}}} = \frac{\text{Промежуточная частота}}{\text{Средняя рабочая частота}}$$

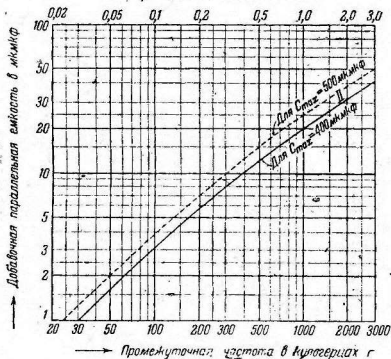


Рис. 12. 13. Расчет одноручечного управления супергетеродина.

Кривая II—емкость добавочного параллельного подстроечного конденсатора (превышение емкости относительно общей начальной емкости). Шкала нижней абсциссы дает промежуточные частоты при диапазоне приема 550—1500 кГц; при других диапазонах надо пользоваться шкалой верхней абсциссы.

В этих формулах f_0 — промежуточная частота,

f_1, f_2, f_3 — частоты рабочего диапазона, при которых выравнивание полное (разность частот точно равна промежуточной),

$$a = f_1 + f_2 + f_3,$$

$$b = f_1 f_2 + f_1 f_3 + f_2 f_3.$$

$$c^2 = f_1 f_2 J_0,$$

$$d = \alpha + 2f_0,$$

$$l^2 = \frac{(b^2 d - c^2)}{2f_0},$$

$$m^2 = l^2 + f_0^2 + a d f_0 - b^2,$$

$$n^2 = \frac{(c^2 d + f_0^2 l^2)}{m^2}.$$

$$C_0 = \frac{25\,300}{L f_0^2}, \text{ т. е. равно емкости, требующей}$$

для того, чтобы настроить L на частоту f_0 .

Все частоты должны при расчете по этим формулам быть выражены в мегагерцах, индуктивность — в микрогенри, емкости — в микромикрофарадах.

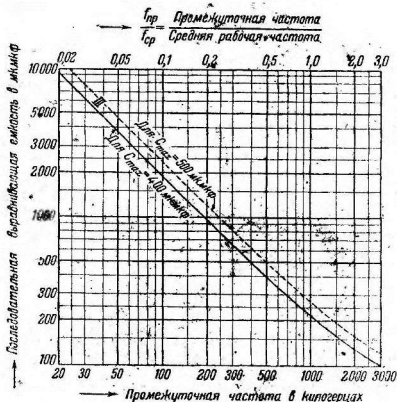


Рис. 12. 14. Расчет одноручечного управления супергетеродина.

Кривая III — емкость последовательно выравнивающего конденсатора в микромикрофарадах. Шкала нижней абсциссы дает промежуточные частоты при диапазоне приемника 550—1500 кГц; при других диапазонах надо пользоваться шкалой на верхней абсциссе.

Гетеродинный каскад супера

В данное время применяются два типа гетеродинов: а) отдельная генераторная лампа (триод или пентод), подающая колебания на одну из сеток смесительной лампы (пентод или пентагрид), б) генератор и смеситель объединяются в одной лампе; чаще всего используется пентагридный тип лампы.

При отдельной генераторной лампе применяются самые разнообразные генераторные схемы. Чаще встречаются схемы, показанные на рис. 12. 17-А, В, С, D. Комбинированная схема смесителя-гетеродина для 6-лампового супергетеродина 6Н1 воронежского радиозавода «Электросигнал» показана на рис. 12. 17-Е.

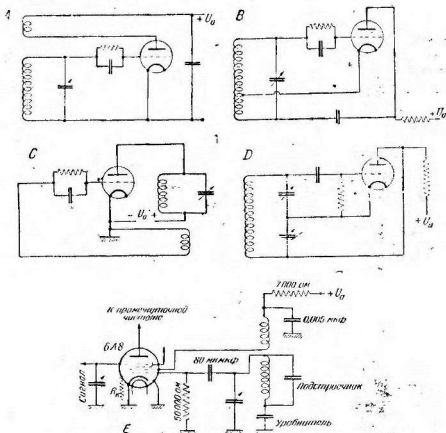


Рис. 12. 17. Генераторный каскад супергетеродинов.

А—генератор с настроенной сеткой, В—схема Хартлея, С—генератор с настроенным анодом, D—схема Колпица, Е—пентагридная схема с использованием первой и второй сеток пентагрида в качестве генераторного триода (из схемы приемника 6Н1).

Полная схема основного массового типа супера, выпускаемого в 1939 г. в СССР, показана на рис. 12. 15 вместе с основными электрическими данными.

На рис. 12. 16 приведена принципиальная схема и основные электрические данные 9-лампового супергетеродина СВД-9, выпущенного в конце 1938 г. александровским заводом № 3 Наркомсвязи.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

Основная задача всех каскадов предварительного усиления — повысить возможно больше и без искажений *напряжение* сигнала, подведенного ко входу усилителя. Мощности переменного тока (частот усиливаемого сигнала), циркулирующие во всех рабочих участках усилительной схемы, могут быть ничтожно малы, что и дает основание называть каскады предварительного усиления усилителем напряжения. Исключением может явиться последний предварительный каскад (раскачивающий оконечный каскад), который в некоторых случаях должен подводить к сеточной цепи оконечного каскада достаточное напряжение при определенной довольно большой (до 0,5 *вт*) мощности.

В настоящее время параметры усилительных ламп позволяют получать с каждого каскада очень большой коэффициент усиления (до 100) при самых простых и надежных в работе схемах усиления на сопротивлениях. Практически это привело почти к полному вытеснению из усилительной схемы междупламповых трансформаторов, так как трансформаторы стоят довольно дорого, обладают резонансными (часто нежелательными, а во всяком случае трудными в регулировке) свойствами и являются опасными в отношении образования индуктивных связей между различными участками усилительной схемы. Обеспечить полную экранировку и стабильность работы многокаскадного усилителя значительно труднее при каскадах, имеющих междупламповые трансформаторы, чем при большем числе каскадов усиления на сопротивлениях. Широкую полосу пропускания частот можно получить только при усилителях на сопротивлениях.

Можно считать, что в американских радиопелательных приемниках усилители на трансформаторах не применяются уже с 1936 г. Даже в специальных (кинотеатральных, трансляционных и пр.) усилителях схема часто имеет только два трансформатора: входной (от микрофона или фотоэлемента) и выходной (питающий громкоговорители или линию). Все новые типы ламп имеют параметры (очень большое внутреннее сопротивление), мало пригодные к использованию в трансформаторных схемах. За последние два года переведены на схемы на сопротивлениях даже такие каскады, как раскачивающий каскад пушпульного оконечного каскада (например, в форме, показанной на рис. 12.50).

Усилитель на сопротивлениях

Полная схема усилительного каскада на сопротивлениях показана на рис. 12.18, эквивалентные схемы этого же каскада для различных частотных диапазонов показаны на рис. 12.19—12.22. В этих схемах применены следующие обозначения:

- e_1 — напряжение входа (на сетке первой лампы),
- e_2 — напряжение выхода (на сетке лампы следующего каскада),
- R_i — внутреннее сопротивление лампы,
- μ — коэффициент усиления лампы,
- R_a — сопротивление анодной нагрузки,
- R_g — сопротивление утечки сетки,
- C_g — переходной (сеточный) конденсатор,
- $C_{a_1-k_1}$ — емкость анод-катод (для первой лампы), объединенная с емкостью монтажа,
- C'_g — входная емкость сетка-катод (для второй лампы), объединенная с емкостью монтажа данного участка,
- C'' — результирующая емкость, объединяющая $C_{a_1-k_1}$ и C'_g .

Усилители на сопротивлениях рассчитываются обычно таким образом, что в средней части передаваемого частотного диапазона емкостное сопротивление последовательного переходного конденсатора C_g настолько мало,



Рис. 12. 18. Полная схема усилительного каскада на сопротивлениях.

* а емкостное сопротивление параллельной емкости C' настолько велико, что для практических расчетов этими емкостями можно пренебречь (вносимая при этом в расчеты ошибка обычно не превышает и 0,5%).

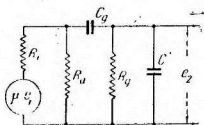


Рис. 12. 19. Упрощенная (практическая) эквивалентная схема усилительного каскада на сопротивлениях.

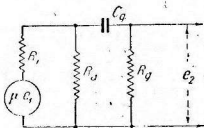


Рис. 12. 20. Практическая эквивалентная схема усилительного каскада на сопротивлениях для расчета при низких частотах.

При этих условиях схема эквивалентного генератора превращается в схему, показанную на рис. 12. 21, расчет усиления которой находится очень легко.

Полное нагрузочное сопротивление

$$R = \frac{R_a R_g}{R_a + R_g}.$$

Полное сопротивление цепи эквивалентного генератора

$$R_i + R = R_i + \frac{R_a R_g}{R_a + R_g}.$$

Напряжение на нагрузочном сопротивлении (R_a или R_g)

$$e_2 = \frac{\mu e_1 R}{R_i + R}.$$

Коэффициент усиления каскада

$$K_0 = \frac{e_2}{e_1} = \mu \frac{R}{R_i + R}.$$

Этот коэффициент усиления K_0 каскада для средней части частотного диапазона является максимально возможным в данной схеме. Как в сторону низших, так и высших частот усиление каскада будет уменьшаться.

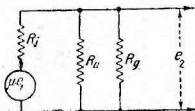


Рис. 12.21. Практическая эквивалентная схема усилительного каскада на сопротивлениях для расчетов при средних частотах.

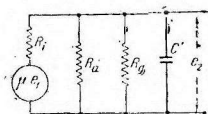


Рис. 12.22. Практическая эквивалентная схема усилительного каскада на сопротивлениях для расчета на высоких частотах.

При использовании в каскаде на сопротивлениях пентодов с большим внутренним сопротивлением удобнее пользоваться эквивалентным генератором постоянной силы тока (см. рис. 12. 1). В этом случае коэффициент усиления каскада для средних частот выразится через

$$K_0 = \frac{e_2}{e_1} = S R_0,$$

где R_0 является результирующим сопротивлением, объединяющим все три сопротивления (R_i , R_g , R_a), в параллельном включении

$$R_0 = \frac{R R_i}{R + R_i} = \frac{R_i R_a R_g}{R_i R_a + R_i R_g + R_a R_g} = \frac{R_a}{1 + \frac{R_a}{R_g} + \frac{R_a}{R_i}}.$$

В последних двух формулах сопротивления должны быть выражены в омах, а крутизна S в амперах на вольт.

При *высоких частотах* емкостное сопротивление переходного конденсатора C_g ничтожно мало, однако параллельную емкость C' уже необходимо принимать во внимание, так как ее влияние быстро возрастает при повышении рабочей частоты. Для высоких частот схема эквивалентного генератора превращается в схему, показанную на рис. 12. 22.

Коэффициент усиления каскада уменьшается по сравнению с K_0 и делается равным

$$K_n = \frac{K_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{X_{C'}}\right)^2}},$$

где K_0 — усиление (максимальное) при средних частотах,
 R_0 — сопротивление, получаемое при параллельном соединении R_i ,
 R_a и R_g (см. выше),

$X_{C'} = \frac{1}{2\pi f_n C'}$ где C' — полная шунтирующая емкость, равная, $C' = C_{a_1-k_1} + C_{g_2-k_2} + C_{\text{монт}} + C_{a_2-g_2} (1 + K_2)$,
 здесь $C_{g_2-k_2}$ — емкость сетка-катод второй лампы,
 $C_{a_1-k_1}$ — емкость анод-катод первой лампы,
 $C_{\text{монт}}$ — общая емкость монтажа данной части схемы,
 $C_{a_2-g_2}$ — внутриламповая емкость анод-сетка (для второй лампы),
 K_2 — коэффициент усиления следующего каскада (лампы L_2).

При подсчете $X_{C'}$ емкость C' должна быть выражена в микрофарадах, частота f_n — в герцах, R_0 — в мегамах.

При низких частотах шунтирующим влиянием емкости C' можно пренебречь, но зато влияние последовательного переходного конденсатора C_g возрастает, что и приводит к понижению коэффициента усиления каскада. Схема эквивалентного генератора принимает вид, изображенный на рис. 12. 20. Коэффициент усиления каскада на низких частотах делается равным

$$K_n = \frac{K_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_{C_g}}{R_g + R'}\right)^2}},$$

где K_n — усиление каскада на низких частотах,

K_0 — усиление (максимальное) на средней части диапазона,

$X_{C_g} = \frac{1}{2\pi f_n C_g}$ (где f_n — низкая частота, выраженная в герцах, C_g — емкость переходного конденсатора в микрофарадах),

R_g — сопротивление утечки в мегамах,

$R' = \frac{R_a R_i}{R_a + R_i}$ (где R_a и R_i — в мегамах).

При вычислении усиления каскада при разных частотах или вычерчивания полной частотной характеристики усилительного каскада на сопротивлениях очень удобно пользоваться «универсальной» кривой усиления (рис. 12. 23), показывающей весьма наглядно, как усиление каскада на сопротивлениях падает в сторону высоких и в сторону низких частот.

При пользовании универсальной кривой усиления расчеты ведутся в следующем порядке:

1. По данным R_i , R_a и R_g вычисляется K_0 ; эта величина на универсальной кривой рис. 12. 23 соответствует относительному усилению в 100%.

2. По заданной величине $\hat{C}_g$ и подсчитанному значению R вычисляется отношение $\frac{X_{Cg}}{R_g + R'}$ для различных низких частот и по универсальной

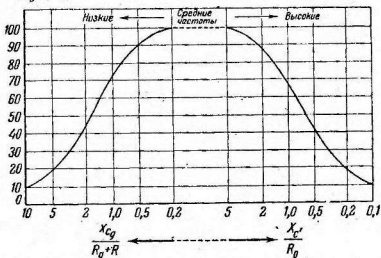


Рис. 12. 23. «Универсальная» кривая усиления каскада на сопротивлениях.

кривой для каждого соотношения находится относительное (в процентах) усиление каскада.

3. Выясняют порядок величины шунтирующей емкости C' (точная величина обычно неизвестна) и, подсчитав значения отношения $\frac{X_{C'}}{R_0}$ для нескольких высших частот, находят по универсальной кривой усиления относительные (в процентах) величины усиления каскада.

ДРОССЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ (рис. 12. 24)

Полная эквивалентная схема дроссельного каскада (рис. 12. 14) представлена на рис. 12. 25.

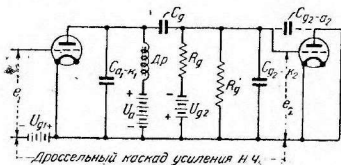


Рис. 12. 24. Полная схема низкочастотного дроссельного усилительного каскада.

Здесь C_{a1-k1} — выходная емкость усилительной лампы, R_L — сопротивление обмотки дросселя, L — индуктивность (продолжение см. стр. 508).

ТАБЛИЦА УСИЛИТЕЛЕЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ (стр. 504—507)

Большую помощь при конструировании усилителя на сопротивлениях может оказать табл. 12.3, в которой даются готовые расчетные значения всех элементов схемы каскада на сопротивлениях. Таблица взята из американского справочника «RCA Receiving Tube Manual», причем оставлены только данные для типов ламп металлической серии, производимых в СССР. Правила пользования таблицей даны в примечаниях самой таблицы.

Примечания. 1. Обозначения в таблице приняты в соответствии с нижеприведенными схемами.

2. R_k (сопротивление смещения) указано в омах.

3. R_a и R_g указаны в таблице в мегамах.

4. C_k и C_g в таблице даны в микрофарадах.

5. e_1 и e_2 — в вольтах; усиление на средних частотах $K_0 = \frac{e_2}{e_1}$ при отдаче $e_2 = 5$ в; e_2 — максимальное напряжение отдачи без сеточного тока.

6. При изменении анодного напряжения все данные в таблице остаются неизменными за исключением e_2 , которое изменяется пропорционально изменениям E_a .

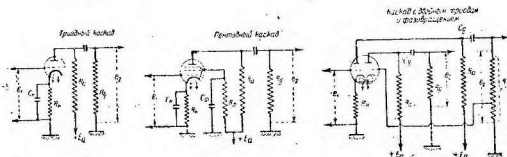


Рис. 12.23а.

7. Изменение анодного тока (при изменении E_a) на частотной характеристике не отражается.

8. Таблица дает значения R и C , обеспечивающие при частоте 100 кГц усиление в $0,8 K_0$. Вышней частотой, дающей усиление приблизительно в $0,8 K_0$, являются:

$$\begin{aligned} \text{при } R_a &= 0,1 \text{ мегом } f_v = 20 \text{ кГц} \\ R_a &= 0,25 \text{ » } f_v = 10 \text{ »} \\ R_a &= 0,5 \text{ » } f_p = 5 \text{ »} \end{aligned}$$

9. Изменение на $\pm 10\%$ величины любого C или R почти не влияет на работу каскада.

10. Значения R_a у лампы 6Н7 даны для схемы с фазовращением.

Данные каскада на сопротивление

для 6Г7

E_a	90												
R_a	0,1			0,25			0,5			0,1			
R_g	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25
R_k	4000	4200	4300	7200	7600	8000	11500	12300	13700	1600	1900	2100	3400
C_k	2,07	1,7	1,5	1,17	1,2	0,9	0,72	0,6	0,45	3	2,5	2,3	1,6
C_g	0,02	0,01	0,005	0,01	0,006	0,003	0,006	0,003	0,0015	0,02	0,01	0,005	0,01
e_z	5	8	9	8	11	13	9	13	17	19	26	29	25
η	23	28	29	31	32	33	31	33	37	28	33	35	36

для 6Ж7 в испод

E_a	90												
R_a	0,1			0,25			0,5			0,1			
R_g	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25
R_{ϕ}	0,37	0,44	0,44	1,1	1,18	1,4	2,18	2,6	2,7	0,44	0,5	0,5	1,1
R_k	1200	1100	1300	2400	2600	3600	4700	5500	5500	1000	750	800	1200
C_{ϕ}	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,025	0,02	0,05	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04
C_k	5,2	5,3	4,8	3,7	3,2	2,5	2,3	12	2	6,5	6,7	6,7	5,2
C_g	0,02	0,01	0,006	0,008	0,005	0,003	0,005	0,0025	0,0015	0,02	0,01	0,006	0,008
e_2	17	22	23	23	32	33	28	29	27	42	52	59	41
K_0	41	55	66	70	85	92	93	120	140	51	69	83	93

для 6С5 или 6Ж7

E_a	90												
R_a	0,05			0,1			0,25			0,05			
R_g	0,05	0,1	0,25	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,05	0,1	0,25	0,1
R_k	2800	3400	3800	4800	6400	7500	11400	14500	17300	2200	2700	3100	3900
C_k	2	1,62	1,3	1,12	0,84	0,66	0,52	0,4	0,33	2,2	2,1	1,85	1,7
C_g	0,05	0,025	0,01	0,025	0,01	0,005	0,01	0,006	0,004	0,055	0,03	0,015	0,03
e_z	14	17	20	16	22	23	18	23	26	34	45	54	41
K_0	9	9	10	10	11	12	12	12	13	10	11	11	12

Таблица 12.3

ниях при металлических лампах

одной части)

180					300								
0,25		0,5			0,1			0,25			0,5		
0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2
4000	4500	6000	7100	7900	1200	1500	1700	2600	3000	3600	4600	5500	6200
1,3	1,05	0,86	0,76	0,63	4,4	3,6	3,05	2,4	1,66	1,45	1,2	0,9	0,9
0,005	0,003	0,006	0,003	0,002	0,03	0,015	0,007	0,015	0,007	0,004	0,007	0,004	0,002
31	37	30	36	41	35	52	53	43	52	62	47	60	66
38	40	39	40	41	34	39	40	42	45	45	45	46	47

ном включении

180					300								
0,25		0,5			0,1			0,25			0,5		
0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2
1,18	1,4	2,45	2,9	2,7	0,44	0,5	0,53	1,18	1,18	1,45	2,45	2,9	2,95
1600	2000	2600	3100	3500	500	450	600	1100	1200	1300	1700	2200	2300
0,04	0,04	0,03	0,025	0,02	0,07	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
4,3	3,8	3,2	2,5	2,8	8,5	8,3	8	5,5	5,4	5,8	4,2	4,1	4
0,005	0,0035	0,005	0,0025	0,0015	0,02	0,01	0,006	0,008	0,005	0,005	0,005	0,003	0,0025
60	60	45	56	60	55	81	96	81	104	110	75	97	100
118	140	135	165	165	61	82	94	104	140	185	161	350	240

в Триодном включении

180					300								
0,1		0,25			0,05			0,1			0,25		
0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,05	0,1	0,25	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1
5300	6200	9500	12300	14700	2100	2600	3100	3800	5300	6000	9600	12300	14000
1,25	1,2	0,74	0,55	0,47	3,16	2,3	2,2	1,7	1,3	1,17	0,9	0,59	0,37
0,015	0,008	0,015	0,008	0,004	0,075	0,04	0,015	0,035	0,015	0,008	0,015	0,008	0,003
54	55	44	52	59	57	70	83	65	84	88	73	85	97
12	13	13	13	13	11	11	12	12	13	13	13	14	14

для

E_a	90												
R_a	0,1			0,25			0,5			0,1			
R_g	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25
R_k	1900	2250	2500	4050	4950	5400	7000	8500	9650	1300	1700	1950	2950
C_g	0,025	0,01	0,006	0,01	0,006	0,003	0,006	0,003	0,0015	0,03	0,015	0,007	0,015
e_2	13	19	20	16	20	24	18	23	26	35	46	50	40
K_0	16	19	20	20	22	23	22	23	23	19	21	22	23

для 6P7

E_a	90												
R_a	0,05			0,1			0,25			0,05			
R_g	0,05	0,1	0,25	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,05	0,1	0,25	0,1
R_k	2300	2600	2900	3500	4400	5000	7600	9800	11300	1700	2100	2500	3000
C_k	2	1,7	1,27	1,2	0,9	0,77	0,54	0,42	0,38	2,3	1,9	1,5	1,3
C_g	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,006	0,015	0,007	0,003	0,05	0,03	0,01	0,03
e_3	14	18	20	15	19	21	15	18	21	31	40	45	35
K_0	8	9	10	10	10	11	10	11	11	9	9	10	10

для

E_a	90												
R_a	0,1			0,25			0,5			0,1			
R_g	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25
R_k	4400	4800	5000	8000	8800	9000	12200	13500	14700	1800	2000	2200	3500
C_k	2,5	2,1	1,8	1,33	1,18	0,9	0,76	0,67	0,58	4,4	3,3	2,9	2,3
C_g	0,02	0,01	0,005	0,01	0,005	0,003	0,005	0,003	0,0015	0,025	0,015	0,006	0,01
e_2	4	5	6	6	7	10	8	10	12	16	23	25	21
K_0	28	34	35	39	43	44	43	46	48	37	44	46	48

6Н7

180					300								
0,25		0,5			0,1			0,25		0,5			
0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2
3800	4300	5250	6600	7650	1150	1500	1750	2650	3400	4000	4850	6100	7150
0,007	0,0035	0,007	0,0035	0,002	0,03	0,015	0,007	0,015	0,0055	0,003	0,0055	0,003	0,0015
50	57	44	54	61	60	83	86	75	87	100	76	94	104
24	24	24	25	25	20	22	23	23	24	24	23	24	24

(тринодной части)

180					300								
0,1		0,25			0,05			0,1		0,25			
0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,05	0,1	0,25	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1
4100	4600	6700	8800	10000	1600	2000	2400	2900	3800	4400	6300	8400	10600
0,9	0,8	0,54	0,4	0,33	2,6	2	1,6	1,4	1,1	1	0,7	0,5	0,44
0,01	0,006	0,01	0,006	0,003	0,055	0,03	0,015	0,03	0,015	0,007	0,015	0,007	0,004
43	46	33	40	47	50	62	71	52	68	71	54	62	74
10	10	10	10	11	9	9	10	10	10	10	10	11	11

6Ф5

180					300								
0,25		0,5			0,1			0,25		0,5			
0,5	1	0,5	1	2	0,1	0,25	0,5	0,25	0,5	1	0,5	1	2
4100	4500	6100	6900	7700	1300	1600	1700	2,600	3200	3500	4500	5400	6100
1,8	1,7	1,3	0,9	0,83	5	3,7	3,2	2,5	2,1	2	1,5	1,2	0,93
0,006	0,004	0,006	0,003	0,0015	0,025	0,01	0,006	0,01	0,007	0,004	0,006	0,004	0,002
26	32	24	33	37	33	43	48	41	54	63	50	62	70
53	57	53	63	66	42	49	52	56	63	67	65	70	70

дросселя, R_e — сопротивление, эквивалентное потерям на токи Фуко, C_L — распределенная емкость обмотки дросселя, C_g — переходной конденсатор, R_g — сопротивление утечки сетки, R_g' — сопротивление входа последующей лампы, C_g' — эквивалентная входная емкость последующей лампы. ;

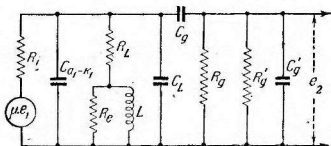


Рис. 12. 25. Полная эквивалентная схема дроссельного усилительного каскада.

Практическая эквивалентная схема показана на рис. 12. 26; малым емкостным сопротивлением конденсатора C_g можно пренебречь; все пар-

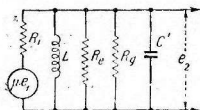


Рис. 12. 26. Полная практическая эквивалентная схема дроссельного каскада.

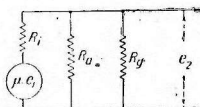


Рис. 12. 27. Практическая эквивалентная схема дроссельного каскада для средних частот

зитные емкости объединены емкостью C' , величина которой может быть подсчитана следующим образом:

$$C' = C_{a1k1} + C_L + C_{g2k2} + C_{g2a2} (1 + K_0),$$

где K_0 — коэффициент усиления следующего каскада.

Практическая эквивалентная схема для средних частот дана на рис. 12. 27

$$K_0 = \mu \cdot \frac{R}{R + R_i} = \mu \cdot \frac{R_e R_g}{R_e R_g + R_i R_e + R_g R_i}$$

Здесь

$$R = \frac{R_e R_g}{R_e + R_g} \text{ (параллельно соединенные } R_e \text{ и } R_g \text{).}$$

Практическая эквивалентная схема для низших частот (рис. 12. 28)

$$K_n = \frac{K_0}{M_n} = K_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{X_L}\right)^2}}$$

Здесь

$$X_L = \omega_n L \quad \text{и} \quad M_n = \frac{K_0}{K_n},$$

R_0 — сопротивление соединенных параллельно R_i , R_g , R_e

$$\left(R_0 = \frac{R_e R_g R_i}{R_e R_g + R_e R_i + R_i R_g} \right).$$

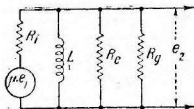


Рис. 12.28. Практическая эквивалентная схема дроссельного каскада для низших частот.

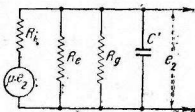


Рис. 12.29. Практическая эквивалентная схема дроссельного каскада для высших частот.

Практическая эквивалентная схема для высших частот (рис. 12. 29)

$$K_0 = \frac{K_0}{M_0} = \frac{K_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{X_{C'}}\right)^2}}$$

$$X_{C'} = \frac{1}{\omega C'}$$

R_0 — сопротивление параллельно соединенных R_i , R_g , R_e .
Для подсчетов могут быть использованы кривые рис. 12. 23.

Трансформаторный усилитель (рис. 12. 30)

Полная эквивалентная схема трансформаторного каскада дана на рис. 12. 31.

В этой эквивалентной схеме:

- C_{a1-k1} — выходная емкость лампы вместе с емкостью первичной обмотки;
- R_l — сопротивление первичной обмотки;
- L_{s1} — индуктивность рассеяния первичной обмотки;
- R_e — сопротивление, эквивалентное потерям на токи Фуко;
- R_h — сопротивление эквивалентное потерям на гистерезис;
- L_l — индуктивность первичной обмотки (без индуктивности рассеяния);
- C_m — емкость между обмотками;

- L_{II} — индуктивность вторичной обмотки (без индуктивности рассеяния);
 L_{s2} — индуктивность рассеяния вторичной обмотки;
 R_{II} — сопротивление вторичной обмотки;
 C_{II} — распределенная емкость вторичной обмотки;
 R_g — входное сопротивление следующей лампы;
 C_g — приведенная входная емкость лампы следующего каскада.

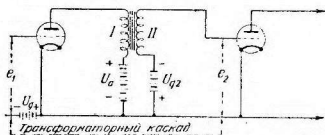


Рис. 12. 30. Принципиальная схема низкочастотного трансформаторного каскада.

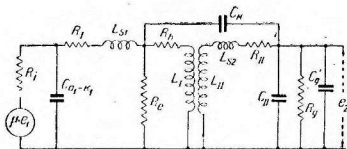


Рис. 12. 31. Полная эквивалентная схема низкочастотного трансформаторного каскада.

Практическая эквивалентная схема трансформаторного каскада, приведенная к обмоткам с одинаковым числом витков (рис. 12. 32), т. е. для условия $n = \frac{W_2}{W_1} = 1$.

$$R' = R_i + R_I, \quad L_s = \frac{L_{s2}}{n^2} + L_{s1}, \quad R_s = \frac{R_{II}}{n^2},$$

$$C' = n^2 (C_{II} + C_g') + C_n (n \pm 1)^2.$$

Практическая эквивалентная схема для низких частот (рис. 12. 33).

$$K_n = \frac{e_2}{e_1} = \mu \cdot n \frac{\omega_n L_I}{\sqrt{\left(\frac{R_i R_e}{R_i + R_e}\right)^2 + (\omega_n L_I)^2}}.$$

Величиной R_e иногда можно пренебречь (слишком велико при параллельном включении), тогда

$$K_n = \frac{e_2}{e_1} = \mu \cdot n \cdot \frac{\omega_n L_I}{\sqrt{(\omega_n L_I)^2 + R_i^2}} = \frac{\mu \cdot n}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_i}{\omega_n L_I}\right)^2}}$$

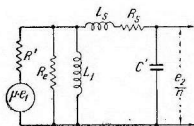


Рис. 12.32. Полная практическая эквивалентная схема трансформаторного каскада, приведенная к обмоткам с одинаковым числом витков.

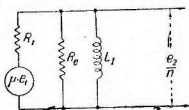


Рис. 12.33. Практическая эквивалентная схема трансформаторного каскада для низших частот.

Практическая эквивалентная схема при средних частотах (рис. 12.34)

$$K_0 = \frac{e_2}{e_1} = \mu \cdot n \cdot \left(\frac{R_e}{R_i + R_e} \right) \cdot \left(\frac{\frac{1}{\omega_0 C'}}{\omega_0 L_S - \frac{1}{\omega_0 C'}} \right).$$

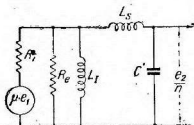


Рис. 12.34. Практическая эквивалентная схема трансформаторного каскада для средних частот.

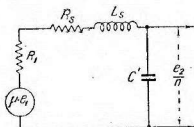


Рис. 12.35. Практическая эквивалентная схема трансформаторного каскада для высших частот.

Практически множитель $\frac{R_e}{R_i + R_e}$ обычно немного меньше единицы,

а множитель $\left(\frac{1}{\omega_0 C'} \right) / \left(\omega_0 L_S - \frac{1}{\omega_0 C'} \right)$ несколько больше единицы, поэтому

$$K_0 = \frac{e_2}{e_1} \approx \mu \cdot n.$$

$$K = \frac{e_2}{e_1} = \mu \cdot n \cdot \frac{1}{\omega_s C'} \sqrt{(R_i + R_s)^2 + \left(\omega_s L_s - \frac{1}{\omega_s C'} \right)^2}$$

По аналогии с обычной кривой резонанса можно формулу усиления на высоких частотах представить в виде

$$K_s = \mu \cdot n \cdot K',$$

где μ — коэффициент усиления лампы;

n — коэффициент трансформации трансформатора;

K' — коэффициент, зависящий в основном от множителя напряжения цепи, т. е. от отношения

$$\frac{\omega_s L_s}{R_i + R_s},$$

где

$$R_s = \frac{R_{II}}{n^2}$$

и $\omega_s L_s$ — индуктивное сопротивление индуктивности рассеяния при резонансной частоте (второй резонанс трансформатора)

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_s C'}}.$$

Вспомогательный коэффициент K' можно вычислять по формуле

$$K' = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{\left(\frac{\omega_s L_s}{R_i + R_s} \right)} \right)^2 + (m^2 - 1)^2}},$$

где

$$m = \frac{\omega_s}{\omega_s} = \frac{\text{рабочая (высокая) частота}}{\text{частота второго резонанса}}$$

Для упрощения расчетов можно воспользоваться графиком (рис. 12.36), дающим сразу вспомогательный коэффициент K' в зависимости от «добротности» цепи, т. е. от величины

$$\frac{\omega_s L_s}{R_i + R_s}.$$

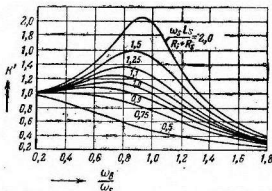


Рис. 12.36. График для расчета пика трансформаторного каскада (вспомогательного коэффициента K').

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ПРИ ЗАДАННОМ R_a

Перед радиотехником часто встает следующая задача: известно напряжение, даваемое выпрямителем (E_a), но неизвестен режим работы лампы (фактическое анодное напряжение и ток), так как существует неизвестное падение напряжения (для постоянного тока) на омическом сопротивлении анодной нагрузки R_a . Подобный вопрос возникает, например, при определении величины сопротивления, задающего минус на сетку. (При лампах металлической серии можно пользоваться готовой табл. 12.2.)

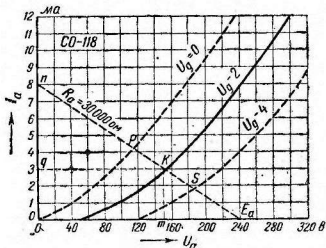


Рис. 12.37. Определение фактического анодного напряжения в усилительном каскаде с сопротивлением в анодной цепи.

При решении этой задачи необходимо использовать графический метод, рассмотренный на рис. 12.37. Решим задачу: в анодной цепи усилительного каскада с лампой 6С0-118 включено омическое сопротивление (основная анодная нагрузка) в 20 000 ом и сопротивление развязывающей цепи в 10 000 ом; выпрямитель дает 240 в. Определить для любого напряжения на сетку фактическое анодное напряжение. Используем для решения анодные характеристики лампы 6С0-118, данные на рис. 12.37 для трех сеточных напряжений (0, -2 и -4 в).

1. Общее сопротивление анодной цепи равно 20 000 + 10 000 = 30 000 ом.

2. Находим на графике линию, соответствующую этому сопротивлению, для чего соединяем точку E_a (напряжение выпрямителя) с точкой (на оси ординат), соответствующей току замыкания напряжения выпрямителя на сопротивление анодной цепи.

$$\frac{E_a}{R_a} = \frac{240}{30\,000} = 8 \text{ ма.}$$

Соединяем точку n (для 8 ма) с точкой E_a . Линия $n - E_a$ соответствует 30 000 ом.

3. Пересечение линии $n - E_a$ с анодной характеристикой определяет рабочий режим. Выбираем минус на сетку - 2 в. Получаемая при пере-

сечении точка k соответствует анодному току в 3 ма и фактическому напряжению (постоянному) на аноде лампы в 150 в (опуская перпендикуляр $k - m$ на ось напряжений).

4. Минус на сетку в 2 в при выбранном режиме можно получить, взяв для автоматического смещения сопротивление в $\frac{2}{0,003} = 670 \text{ ом}$.

5. При графическом решении обратной задачи (задан режим, определить необходимое напряжение выпрямителя) через точку k необходимо провести линию, наклон которой соответствует 30 000 ом. Для этого проводится линия, соответствующая любым значениям тока и напряжения (по закону Ома для 30 000 ом), из атем проводится через точку k линия, параллельная вспомогательной.

Если бы при выборе режима мы остановились на нулевом сеточном напряжении или на минусе в 4 в, то фактический режим лампы определялся бы токами p или s .

Если при той же анодной характеристике $U_g = -2 \text{ в}$ изменялось бы омическое сопротивление анодной цепи, то точку n приходилось бы брать выше или ниже по оси ординат. В соответствии с этим рабочая точка k перемещалась бы выше или ниже по той же характеристике $U_g = -2 \text{ в}$ (точка E_a остается неизменной для заданного напряжения выпрямителя).

ОКОНЕЧНЫЙ КАСКАД

Наивыгоднейшей нагрузкой оконечной лампы, обеспечивающей максимум неискаженной отдачи, является нагрузка, равная двойному внутреннему сопротивлению

$$R'_a = 2R_i,$$

где R_i — внутреннее сопротивление лампы (для переменного тока);

R'_a — сопротивление цепи нагрузки (расчет ведется обычно на активную нагрузку). При наличии выходного трансформатора сопротивление R'_a является приведенным сопротивлением нагрузки, равным

$$R'_a = n^2 R_a;$$

n — коэффициент трансформации между первичной и вторичной обмотками.

Условие оптимальной отдачи получается равным]

$$R'_a = n^2 R_a = 2R_i$$

откуда и выводится формула для нахождения нужного коэффициента трансформации

$$n = \sqrt{\frac{2R_i}{R_a}}.$$

Графики для подбора необходимого коэффициента трансформации приведены на рис. 12. 38.

Отклонения сопротивления нагрузки от указанной расчетной величины до 50% в обе стороны не вызывают заметного уменьшения отдаваемой мощности или увеличения вносимых искажений (мощность отдачи изменяется не больше чем на 10% от максимальной).

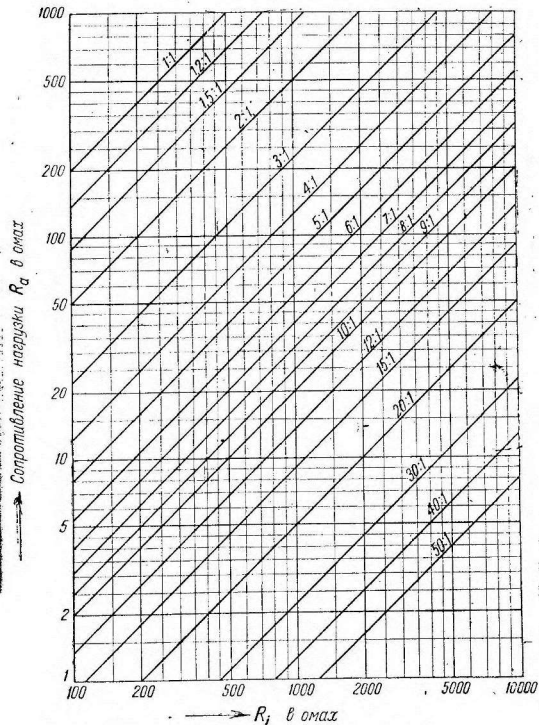


Рис. 12.38. График для расчета коэффициента трансформации выходного трансформатора оконечного каскада.

Максимальную отдаваемую мощность при нагрузке, равной двойному внутреннему сопротивлению, можно определять по формуле

$$P_a = \frac{\mu \cdot S \cdot U_{mg}^2}{2} \cdot \frac{\alpha}{(\alpha + 1)^2},$$

где P_a — отдаваемая мощность в милливаттах,

μ — коэффициент усиления лампы,

S — крутизна лампы в ma/v ,

U_{mg} — амплитуда переменного напряжения на сетке в вольтах,

$\alpha = \frac{R'_a}{R_i}$ — коэффициент нагрузки.

Иначе эта формула может быть написана так:

$$P_a = \frac{GU_{mg}^2 \alpha}{2(\alpha + 1)^2},$$

где G — доброкачественность лампы.

При выражении доброкачественности в mat/v^2 мощность получается в ваттах. Доброкачественность в at/v^2 дает мощность в ваттах.

Обычно величина максимальной отдачи составляет около 10% от максимальной мощности рассеяния, допускаемого на аноде. Величина сопротивления нагрузки при непосредственном ее включении в цепь анода составляет от 2000 до 5000 om , так как большинство оконечных усилительных ламп-триодов для массовой усилительной аппаратуры изготавливается с внутренним сопротивлением порядка 1000—2000 om .

Пентоды имеют другие параметры и работают в другом режиме; стандартной нагрузкой для них чаще всего выбирается омическое сопротивление в 7000—8000 om . При сопротивлении нагрузки, близком к внутреннему сопротивлению низкочастотных пентодов, передача получает недопустимые искажения.

Наибольшая неискаженная мощность от пентодов получается при удовлетворении условия

$$\frac{R'_a}{R_i} = 0,1 - 0,15.$$

Если вопрос о величине искажений не входит в расчет, то отдача может быть несколько увеличена при равенстве сопротивления нагрузки и внутреннего сопротивления лампы

$$R_a = R_i.$$

Максимальная возможная мощность (при полной раскacke до нуля на сетке) равна при этом

$$P_{max} = \frac{\mu^2}{R_i} \cdot \frac{U_g^2}{4} = \frac{G \cdot U_g^2}{4}.$$

где G — добротность лампы;

U_g — действующая величина напряжения на сетке

$$\left(U_g = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = 0,71 U_g, \text{ т. е. } 0,71 \text{ отриц. напряжения на сетку} \right).$$

Наиболее удобным способом для подсчета мощностей и вносимых искажений является определение рабочей характеристики или нормального, максимального и минимального анодных токов.

На рис. 12.39 дана серия анодных характеристик. Рабочая точка O обычно задается для данной лампы в виде определенного минуса на сетку U_g^* и нормального анодного напряжения U_0 (или величиной рабочего анодного тока I_0). Нахождение четырех линий, ограничивающих рабочий участок для данной лампы, было рассмотрено на стр. 383.

Через заданную (или произвольно выбранную) рабочую точку O , представляющую собой ток и напряжение покоя (без сигнала), проводится нагрузочная линия, определяемая омическим сопротивлением для переменного тока (рассматриваемой частоты) цепи нагрузки (или приведенным сопротивлением при выходном трансформаторе). Эта линия проводится следующим образом. От центра ординат по осям откладываются любые значения U_a и I_a , соответствующие заданному сопротивлению цепи нагрузки (согласно формуле $R_a = \frac{U_a}{I_a}$, через по-

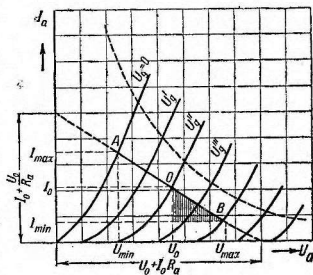


Рис. 12.39. Нагрузочная линия в системе анодных характеристик.

лученные на осях точки проводится линия; затем через рабочую точку O проводится ей параллельная AOB . Можно эту линию нагрузки AOB найти, соединив точку O с точкой, соответствующей по оси I_a силе тока $I_0 + \frac{U_0}{R_a}$, или с точкой, соответствующей напряжению $U_0 + I_0 R_a$. Обе эти точки и показаны на рис. 12.39.

Далее на рабочей линии AOB по обе стороны от точки покоя O откладывают максимальные амплитуды сеточного напряжения AO и OB . На рис. 12.39 взята максимально допустимая раскачка, доходящая до характеристики, соответствующей $U_g = 0$. От точек A и B проводятся вертикальные и горизонтальные линии и определяются максимальные и минимальные значения тока и напряжения, соответствующие крайним точкам A и B .

Это будет — $I_{\max}$, $I_{\min}$, $U_{\max}$, $U_{\min}$.

Площадь заштрихованного треугольника соответствует мощности, отдаваемой в нагрузочную цепь. Эта мощность может быть подсчитана по формуле

$$P_a = \frac{(U_{\max} - U_{\min})(I_{\max} - I_{\min})}{8}$$

Величина второй гармоники, определяющей главнейшую часть вносимых искажений, вычисляется по формуле

$$\frac{\frac{1}{2} (I_{\max} + I_{\min}) - I_0}{I_{\max} - I_{\min}} \cdot 100\%.$$

Проверка отдаваемой мощности может быть произведена еще и по формуле

$$P_a = \frac{\mu^2 U_g^2 R_a}{2(R_i + R_a)^2} \text{ (ватт),}$$

где U_0 — действующее напряжение, равное $\frac{U_{gm}}{\sqrt{2}}$ или $0,71 U_{gm}$.

Приведем еще один способ определения неискаженной мощности по анодным характеристикам. На рис. 12. 40 дана линейка¹, у которой от центра

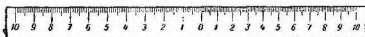


Рис. 12.40.

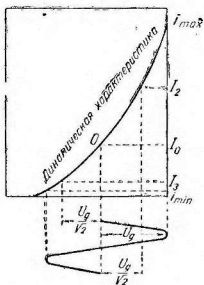


Рис. 12.41. Динамическая характеристика в системе $I_a = f(U_g)$.

линейки (точка 0) деления в одну сторону меньше делений на другой половине линейки. Приложив эту линейку вдоль нагрузочной линии OB , вычерченной на анодных характеристиках, так, чтобы центр линейки (точка 0) совпал с рабочей точкой нагрузочной линии, следят за теми пределами, в которых анодные характеристики, пересекающие нагрузочную линию и равно отстоящие (по вольтам на сетку) от средней рабочей, соответствовали бы одинаковому числу делений на обеих половинах линейки. Это и будет соответствовать тем пределам раскачки на сетку, при которых искажения (2-я гармоника) не будут превосходить обычно допустимых 5%.

При работе двух ламп в параллели или в пушпульной схеме можно мощность отдачи считать удвоенной по сравнению с подсчетом, отнесенным всеми величинами к одной лампе. Внутреннее сопротивление анодных цепей в этом случае получается вдвое большим, чем у одной лампы.

Более подробный анализ искажений можно произвести следующим образом (статья G. Lucas, «Wireless Engineer», ноябрь 1931 г.).

¹ В конце книги линейка дана в большем масштабе. Для пользования линейкой ее следует вырезать и наклеить на картон.

Введем обозначения рис:

A — постоянная слагающая анодного тока,

B — максимальный ток основной частоты,

C — максимальный ток 2-й гармоники,

D — максимальный ток 3-й гармоники,

E — максимальный ток 4-й гармоники.

Искажения в процентах будут составлять:

$$\text{для второй гармоники } \frac{C}{B} \cdot 100,$$

$$\text{для третьей гармоники } \frac{D}{B} \cdot 100,$$

$$\text{для четвертой гармоники } \frac{E}{B} \cdot 100:$$

Значения A , B , C , D и E определяются в соответствии с динамической анодной или сеточной характеристикой:

$$A = \frac{\frac{1}{2} (i_{\max} + i_{\min}) + I_0 + I_2 + I_3}{4}$$

$$B = 0,353 (I_2 - I_3) + \frac{1}{4} (i_{\max} - i_{\min}),$$

$$C = A + E - I_0;$$

$$D = \frac{i_{\max} - i_{\min} - 2B}{2};$$

$$E = \frac{2A - I_2 - I_3}{2}.$$

В этих равенствах различные токи берутся из динамической характеристики (рис. 12.41) и имеют следующие значения:

$i_{\max}$ — максимальное мгновенное значение, которого достигает анодный ток; при полной раскачке этот ток будет соответствовать нулевому анодному току (при $U_g = 0$);

I_0 — нормальный анодный ток в отсутствии сигнала;

I_2 — анодный ток, соответствующий напряжению минуса на сетку, уменьшенному на действующее значение раскачки;

I_3 — анодный ток, соответствующий напряжению минуса на сетку, увеличенному на действующее значение напряжения раскачки ($I_2 > I_3$);

$i_{\min}$ — минимальный анодный ток (мгновенное значение).

Пушпульный каскад (двухтактная схема)

Расчет выходного каскада по пушпульной схеме можно производить обычным путем, пользуясь эквивалентной схемой, изображенной на рис.12.42. Эта эквивалентная схема соответствует работе ламп каскада в режиме класса А, т. е. при работе каждой лампы на середине прямолинейного участка характеристики.

Общий анодный ток, отдаваемый анодным источником, равен сумме анодных токов обеих ламп $i_{a1} + i_{a2}$.

Работу каждой лампы следует рассматривать производящейся на половину общей анодной нагрузки выходного каскада.

Если внешнее сопротивление равно R , то при выходном трансформаторе с коэффициентом трансформации, равным n , приведенная нагрузка анодной цепи, обеих ламп $R' = R \cdot n^2$ и каждая лампа будет работать на половину этой приведенной нагрузки

$$\frac{R'}{2} = \frac{R \cdot n^2}{2}.$$

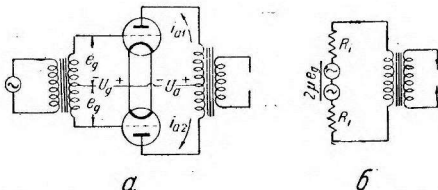


Рис. 12.42. Принципиальная и эквивалентная схема пушпульного усилительного каскада (двухтактная схема).

Отношение сопротивления нагрузки к внутреннему сопротивлению лампы (коэффициент a) равно

$$a = \frac{R_a}{R_i} = \frac{R'}{2R_i} = \frac{R \cdot n^2}{2R_i}.$$

Коэффициент усиления одной лампы

$$K = \mu \frac{\frac{R'}{2}}{R_i + \frac{R'}{2}}.$$

Основное свойство двухтактной схемы — это почти полная фильтрация всех четных гармоник, появляющихся вследствие нелинейности ламповых характеристик. Благодаря этому пушпульный каскад имеет значительно меньший (по сравнению с обычной схемой) коэффициент нелинейных искажений. Кроме того, благодаря тому же свойству можно в двухтактной схеме ставить лампы в режим класса В, т. е. работать при таком отрицательном напряжении смещения на сетку, при котором анодный ток лампы при отсутствии сигнала (ток покоя) был бы близок к нулю.

Лампа, работающая в режиме класса В, при однотактной схеме для расчета может быть заменена эквивалентным генератором с электродвижущей силой, равной μe_g , и с внутренним сопротивлением, равным $2R_i$. Однако в однотактной схеме режим класса В не применяется, так как коэффициент

нелинейных искажений может доходить чуть не до 50%. Лампа будет недопустимо искажать.

Двухтактная схема при режиме класса В может для расчета рассматриваться как эквивалентная схема, изображенная на рис. 12. 43, т. е. как генератор с удвоенной (по сравнению с типовой схемой для класса А) электродвижущей силой и с учетверенным внутренним сопротивлением.

Преимущества двухтактной схемы по сравнению с однотактной, помимо отсутствия всех четных искажающих передач гармоник, таковы:

а) отсутствует постоянная, слагающая магнитного потока в железном сердечнике выходного трансформатора, ибо противоположно направленные анодные токи обеих ламп нейтрализуют друг друга;

б) пульсации анодного напряжения и напряжения смещения на сетку не создают фона на выходе;

в) питание нитей накала переменным током также не создает фона на выходе.

Весьма желательным является подбор для обоих плеч двухтактного каскада ламп, имеющих максимально возможную однородность своих параметров и данных (токов и напряжений в рабочем режиме).

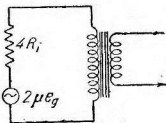


Рис. 12.43. Расчетная эквивалентная схема выходного пушпульного склада класса В.

Практические правила для расчета оконечного каскада

Если рабочая точка (минус на сетку и анодное напряжение или анодный ток) известна, то максимальную неискаженную мощность находят, прикладывая описанную на стр. 518

двухшкальную линейку к нагрузочной линии. Если средний анодный ток и минус на сетке неизвестны, то нахождение наилучшего режима работы каскада производится так: по анодной характеристике (I_a , U_a), соответствующей нулю на сетке ($U_g=0$), определяется величина тока для имеющегося анодного напряжения. Одна четверть этого тока и будет определять средний анодный ток и рабочую точку. Например, для лампы, имеющей анодные характеристики, данные на рис. 12. 44, рабочая точка была найдена следующим образом. Для имеющегося анодного напряжения в 240 в (задано выпрямителем) проводим пунктирную вертикальную линию до тех пор, пока она пересечет в точке I_m нулевую характеристику ($U_g=0$),

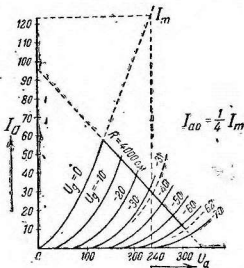


Рис. 12.44. Схема упрощенного расчета однотактного оконечного каскада.

показана тоже пунктиром). Отмечаем I_{a0} , равную одной четверти I_m . Она

и будет рабочей точкой. Из

характеристики видно, что эта точка при заданном анодном напряжении 240 в соответствует минусу на сетку в 31 в. Проведя пунктиром вспомогательную характеристику, соответствующую $-31 \cdot 2 = -62$ в (максимальный минус при работе), укладываем двухшальную линейку между линиями

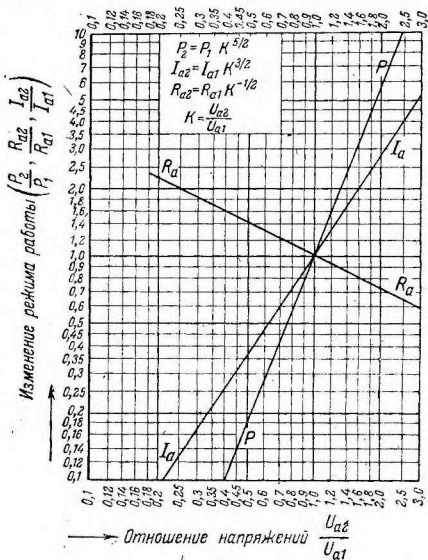


Рис. 12.45. Изменение рабочего режима при изменении рабочего анодного напряжения.

$U_g = 0$ и $U_g = -62$ с центром в точке I_{a0} . Положим линейку так, как начерчено жирной линией, пересекающей анодные характеристики. Это будет нагрузочная линия с сопротивлением нагрузки в $R_a = 4000$ ом (эт

линия при продолжении в обе стороны отсекала бы на осях координат 100 мВ и 400 В, что по закону Ома и дает $R_a = \frac{400}{0,1} = 4000 \text{ ом}$.

При изменении анодного напряжения меняются и отдаваемая мощность, и анодный ток, и оптимальное сопротивление нагрузки.

Для того чтобы не производить заново все пересчеты, можно пользоваться следующими правилами пересчета:

Для мощности:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{U_{a2}}{U_{a1}} \right)^{1/2},$$

P_2 — мощность отдачи для нового режима, заданного напряжением U_{a2} ;

P_1 — мощность, отдаваемая при напряжении U_{a1} .

Для оптимального сопротивления нагрузки:

$$R_{a.} = R_{a1} \sqrt{\frac{U_{a1}}{U_{a2}}}.$$

Здесь R_{a2} — анодное сопротивление при новом режиме (U_{a2});

R_{a1} — анодное сопротивление при старом напряжении (U_{a1}).

Для анодного тока:

$$I_{a2} = I_{a1} \left(\frac{U_{a2}}{U_{a1}} \right)^{1/2},$$

I_{a2} — новый анодный ток;

I_{a1} — прежний анодный ток при напряжении U_{a1} .

Для упрощения пересчетов нами составлен график рис. 12.45, сразу дающий изменения режима по заданному изменению анодного напряжения.

Подсчет режима работы для пушпульного каскада в упрощенном виде производится так. На анодных характеристиках (рис. 12.46) проводится вертикальная пунктирная линия, соответствующая вспомогательному напряжению $U_a = 0,6 U_{a0}$ (где U_{a0} — заданное рабочее анодное напряжение).

Точка пересечения этой вертикальной линии с нулевой ($U_g = 0$) анодной характеристикой и укажет общий для обеих ламп анодный ток I_m . Второй конец рабочей нагрузочной линии будет на оси абсцисс у действующего анодного напряжения (точка U_{a0} при $I_a = 0$). Наклон этой нагрузочной линии указывает только четвертую часть анодного сопротивления нагрузки, которое находится по формуле:

$$R_a \text{ (между анодами пушпула)} = \frac{4 (U_{a0} - U_a)}{I_m}.$$

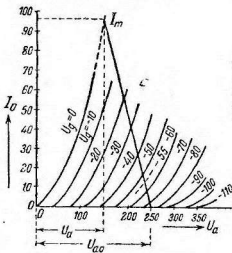


Рис. 12.46. Схема упрощенного расчета двухтактного оконечного каскада.

Максимальный размах сеточных напряжений не должен превышать точки, у которой для увеличенного в 1,4 раза анодного напряжения начинается соответствующая анодная характеристика (на рис. 12. 46 при напряжении $1,4 U_a = 1,4 \cdot 250 = 350$ в начинается характеристика для $U_g = -110$ в). Минус на сетку составляет половину этой величины (для рис. 12. 46 $U_g = -\frac{110}{2} = -55$ в).

Отдаваемая мощность может быть при этих условиях подсчитана по упрощенной формуле:

$$P = \frac{I_m \cdot U_a}{5} \text{ (ватты, амперы, вольты).}$$

НЕГАТИВНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В НИЗКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

В этом типе усилителей искусственно образуется обратная связь между выходной и входной цепями, причем направление этой обратной связи таково, что оно уменьшает коэффициент усиления усилителя. Негативная обратная связь получила в последние годы очень широкое применение как в профессиональных установках дальней проводной связи и измерительных установках, так и в мощных трансляционных усилителях и даже в обычных радиовещательных приемниках. Кроме того, негативная обратная связь с успехом используется и в передатчиках.

Преимущества этих усилителей:

- 1) большая стабильность работы усилителя;
- 2) коэффициент усиления усилителя делается независимым от напряжения питания, данных схемы и даже характеристик применяемых ламп;
- 3) уменьшаются искажения и шумы, образуемые самим усилителем;
- 4) легко можно уменьшать фазовые и частотные искажения и вносить желаемую коррекцию в характеристики.

Недостатком низкочастотных усилителей с негативной обратной связью надо считать только одно: уменьшение общего коэффициента усиления, что во многих случаях может потребовать дополнительного каскада усиления.

Принцип действия негативной обратной связи условно изображен на рис. 12. 47. К усилителю, обладающему коэффициентом усиления A , подводится напряжение e_1 . Часть β выходного напряжения E подводится обратно к входу таким образом, что фактическое входное напряжение делается равным $e_1 + \beta E$.

В этом выражении β принимается отрицательной величиной для того случая, когда напряжение обратной связи противоположно (уменьшает) напряжению сигнала, подаваемого на вход усилителя.

Фактический коэффициент усиления для всей усилительной системы делается равным

$$A_{\Phi} = \frac{A}{1 - \beta A}.$$

Величина βA обычно называется коэффициентом негативной обратной связи; фактически она указывает, во сколько раз напряжение, поданное на вход из выходной цепи, превышает первоначальное входное напряжение, подведенное к усилителю:

$$A = \frac{E}{e_1},$$

откуда

$$A\beta = \frac{\beta E}{e_1}.$$

Например, если $A\beta = 50$, то это означает, что на каждый милливольт сигнала, подводимого к усилителю, будет накладываться сигнал противоположной фазы напряжением в 50 мв. Следовательно, для того чтобы на входе усилителя фактически остался тот же сигнал напряжением 1 мв, необходимо подать значительно больше, а именно 51 мв.

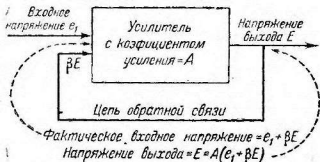


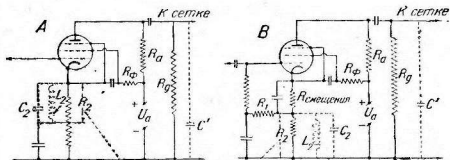
Рис. 12.47. Принципиальная схема работы усилителя с отрицательной обратной связью.

Если коэффициент отрицательной обратной связи выбран достаточно большим, т. е. $A\beta \gg 1$, то формула фактического усиления устройства превращается в приближенную формулу:

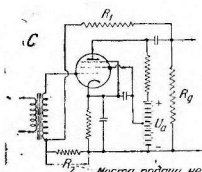
$$A_{\Phi} = \frac{A}{1 - \beta A} = \frac{A}{-\beta A} = -\frac{1}{\beta}.$$

Это означает, что фактический коэффициент усиления всего усилительного устройства зависит только от доли возвращаемого на вход выходного напряжения и в основном не зависит от рабочего коэффициента усиления самого усилителя.

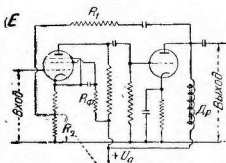
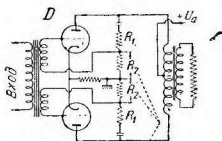
Эта парадоксальная зависимость объясняется тем, что фактическое напряжение сигнала, остающееся на входе усилителя, всегда будет представлять собой незначительную разность между двумя значительными по величине напряжениями (подведенным и поданным с выхода через цепь отрицательной обратной связи). Поэтому сравнительно большое изменение коэффициента усиления A самого усилителя изменит в первую очередь фактическое напряжение на входе (разность напряжений), не потребовав большого изменения подводимого напряжения сигнала. Например, если бы в указанном выше случае ($A\beta = 50$) коэффициент усиления A самого усилителя в силу каких-либо причин уменьшился вдвое, то для получения неизменной мощности на выходе усилителя потребовалось бы увеличить фактически действующее напряжение входа в 2 раза, т. е. вместо 1 мв оставить 2 мв. Это разностное напряжение будет получено (β остается неизменным) между входным напряжением в 52 мв (вместо ранее подводимого 51 мв) и противодействующим ему напряжением отрицательной обратной связи 50 мв.



Места подачи отрицательной обратной связи



Места подачи отрицательной обратной связи



Места подачи отрицательной обратной связи

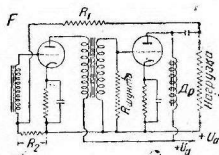


Рис. 12.48. Схемы подачи отрицательной обратной связи в каскадах усиления низкой частоты.

Таким образом, изменение коэффициента усиления A усилителя на 50% вызвало изменение фактического усиления всей установки и необходимость повышения подводимого напряжения всего лишь на 2%.

Такой «саморегулировкой» усилительной работы установки объясняется и уменьшение искажений, возникающих в самом усилителе, ибо всякое «выделение» какой-либо частоты немедленно вызовет через цепь негативной обратной связи соответствующую глушащую реакцию для этой частоты.

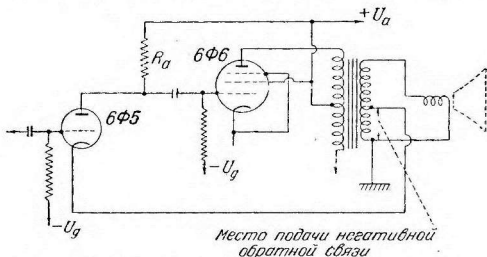


Рис. 12.49. Схема подачи негативной обратной связи в новейших приемниках RCA.

Если через d обозначить искажения, возникающие в самом усилителе, а через D — искажения при использовании негативной обратной связи, то

$$D = \frac{d}{1 - \beta A}.$$

Иначе говоря, на выходной нагрузке искажения будут уменьшены в $(1 - \beta A)$ раз. Во столько же раз будут уменьшены и шумы, возникающие в самом усилителе (например, от плохо отфильтрованного анодного напряжения, подводимого к выходному каскаду). Однако применение негативной обратной связи не дает уменьшения шумов, возникающих в первых каскадах усиления. Термшумы, микрофонные шумы и пр. уничтожаются применением негативной обратной связи недостаточно.

Типовые схемы подачи негативной обратной связи приведены на рис. 12.48—12.50 (схемы А—F взяты из книги Terman «Radio Engineering», схема рис. 12.49 применена в последних приемниках фирмы RCA). Для схем C, D, F коэффициент β подсчитывается, по формуле:

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Для схем А и В коэффициент β для средней части передаваемого диапазона определится через $\frac{R_2}{R_0}$, где R_0 является результирующим сопротивлением для сопротивлений R_a и R_g , соединенных параллельно.

Показанные пунктиром на схемах C_2 и L_2 предназначены для компенсации влияния емкости C' на частотную характеристику каскада:

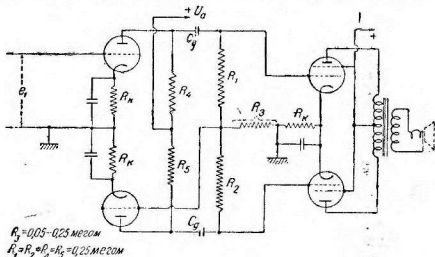


Рис. 12. 50. Схема предушпупльного раскачивающего и фазовращающего каскада на сопротивлениях, с одновременным введением негативной обратной связи. Работа схемы весьма стабильна и мало зависит от смены ламп или замены сопротивлений.

РАСЧЕТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА И МАЛОМОЩНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Данный упрощенный расчет силовых трансформаторов дает достаточно точные результаты для малоомощной группы силовых трансформаторов мощностью до 1000 *вт*. Отношение веса железа к весу меди при этом расчете колеблется около 2, что надо считать рациональным решением вопроса, учитывающим и дефицитность меди, и стоимость, и размеры готового трансформатора при железе сравнительно низкого качества.

Следует иметь в виду, что данный расчет, как равно и более сложные расчеты крупных силовых трансформаторов, дает достаточно правильные результаты в смысле электрического действия, несмотря на возможность некоторых вариантов в размерах, числе витков и пр. Изменения могут быть лишь в некоторых достаточно малых колебаниях полной стоимости трансформатора и его коэффициента полезного действия. Однако уточнять эти величины при немассовом изготовлении трансформаторов не имеет смысла, так как большое разнообразие цен, качества и размеров железа и обычно достаточно широкие колебания потребления мощности в нагрузочных цепях делают невозможным полный и точный экономический и электрический расчет. Вольты же, амперы и ватты во всех вторичных обмотках при любом расчетном варианте будут достаточно точно соответствовать заданиям.

Расчет стандартного силового трансформатора для приемно-усилительной установки производится в следующем порядке.

1. Прежде всего определяется мощность заданного трансформатора, вычисляемая как сумма мощностей, ожидаемых при полной нагрузке всех вторичных обмоток. Мощность понижающих накальных обмоток высчиты-

вается как произведение действующих величин напряжения и сил токов. Выпрямительную высоковольтную обмотку можно считать по мощности постоянного тока в нагрузочной цепи, увеличенной на потерю мощности в фильтрующем устройстве выпрямителя и на внутреннем сопротивлении кенотрона. Таким образом полная мощность P_0 нагрузок трансформатора:

$$P_0 = I_{\text{выпр}} \cdot U_{\text{выпр}} + I_{\text{выпр}}^2 \cdot R_{\text{дрессели}} + I_{\text{III}} U_{\text{III}} + I_{\text{IV}} U_{\text{IV}}.$$

Здесь предполагается следующая схема выпрямителя:

- I* — первичная обмотка для включения в сеть;
- II* — повышающая обмотка для выпрямителя;
- III* — понижающая обмотка для накала кенотрона;
- IV* — понижающая обмотка для накала всех ламп приемника (предполагается, что все лампы приемника требуют одинакового стандартного напряжения накала).

2. Коэффициент полезного действия рассматриваемых типов трансформаторов колеблется обычно от 70 до 90%. Для мощностей до 200 *вт* можно считать его равным в среднем 80%. Поэтому первичная (основная) мощность, поглощаемая от сети, будет превышать на 25% полезную P_0 . Эту первичную мощность находим по следующей формуле:

$$P = 1,25 P_0.$$

3. Следующий этап — расчет сечения основного железного сердечника трансформатора, величина которого определяется только величиной первичной мощности P .

Сечение сердечника $S = \sqrt{P}$ (для лучших сортов железа),

$$S = 1,2 \sqrt{P} \text{ (для железа пониженного качества).}$$

Величина мощности P должна быть выражена в ваттах, S — сечение сердечника получается в кв. сантиметрах.

Готовые величины сердечника можно брать из графика рис. 12. 51. Кривая *I* относится к трансформаторному или динамному железу улучшенного качества (тоньше листы, лучше сорт). Кривая *II* — к более толстым листам и худшим сортам. Сечение дает габарит сердечника (чистое сечение железа составит при этом около 0,9 от S).

Сечение сердечника определяет основную величину расчета количества витков.

4. Число витков на 1 вольт — N_1 . Эта величина N_1 связана с сечением сердечника простой зависимостью: произведение $N_1 \cdot S$ является постоянной величиной, колеблющейся в пределах 60—100. Для лучших сортов железа от 50, для худших — 75, для кровельного железа $N_1 \cdot S$ следует выбирать до 100. Средним наиболее вероятным следует считать коэффициент 60 (от колебаний этого числового коэффициента ни напряжение, ни ток в обмотках, можно считать, не меняются). Готовые величины числа витков, приходящихся на 1 в напряжения, для средних сортов железа можно брать из графика рис. 12. 52.

5. Число витков любой обмотки определяется простым перемножением требуемого числа вольт на N_1 . Это касается всех типов обмоток: первичной, повышающих и понижающих

$$n_1 = U_1 \cdot N_1,$$

$$n_2 = U_2 \cdot N_2 \text{ и т. д.,}$$

n_1 и U_1 — число витков и напряжение первой обмотки,

n_2 и U_2 — число витков и напряжение второй обмотки.

Для первичной обмотки при сети в 110 в число витков равно $110 N_1$, при сети 220 в — $220 N_1$.

6. Выбор размеров (длины и ширины) сторон сечения сердечника может производиться довольно произвольно в зависимости от имеющихся образцов или размеров железных пластин и желаемой формы. Необходимо только,

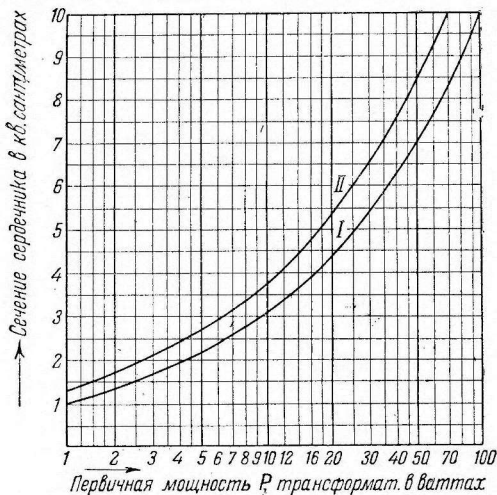


Рис. 12-51. График для упрощенного расчета числа витков малоомощного трансформатора.

чтобы произведение длины поперечного сечения на его ширину было равно найденному ранее значению S — поперечному сечению сердечника. Если желательно иметь сердечник квадратной формы, то его стороны найдутся по формуле: $a_1 = a_2 = \sqrt{S}$ (сторона получится в сантиметрах).

Обычно бывает удобнее делать прямоугольную форму сечения с отношением сторон 5 : 6. В этом случае стороны сечения будут иметь следующие размеры:

$$\begin{aligned} \text{ширина пластин } a_1 &= 0,9 \sqrt{S} (\text{см}), \\ \text{толщина пакета } a_2 &= 1,1 \sqrt{S} (\text{см}). \end{aligned}$$

При сердечнике Ш-образной формы найденное ранее значение S относится к среднему общему стержню. Боковые магнитные сердечники имеют обычно ширину около 60% от S (несколько больше, чем половинное сечение $\frac{S}{2}$).

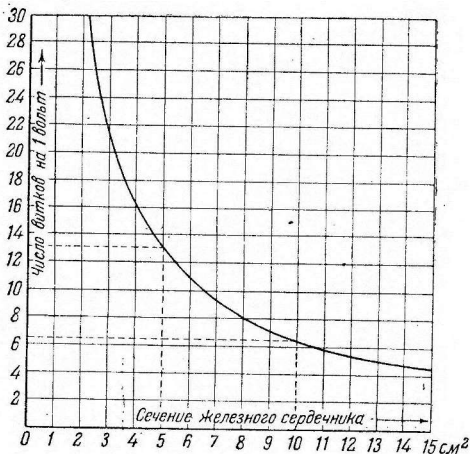


Рис. 12.52.

7. Выбор диаметра провода для любой обмотки. Плотность тока для всех обмоток трансформатора берется обычно одинаковая.

Выбор плотности тока для трансформаторов обычных типов производится в зависимости от мощности. Для трансформаторов до 75 *вт* основная норма 2 *а/мм²*, для мощностей 75—300 *вт* плотность примерно 1,6 *а/мм²* и для трансформаторов от 300 до 1000 *вт* плотность тока берется в 1,3 *а/мм²*. В соответствии с этими плотностями токов диаметр провода любой обмотки может быть рассчитан (в зависимости от силы протекающего по этой обмотке тока) по формулам:

$$d = 0,8 \sqrt{I} \text{ (для мощностей до 75 вт);}$$

$$d = 0,9 \sqrt{I} \text{ (для мощностей 75—300 вт);}$$

$$d = \sqrt{I} \text{ (для мощностей 300—1000 вт).}$$

В этих формулах сила тока I — в амперах.

При особо благоприятных условиях норму можно доводить до 3 а/мм^2 . Превышать эту норму можно уже только в тех условиях, когда трансформатор рассчитывается на работу с достаточно частыми перерывами или на улучшенную, или специальную систему охлаждения. Нормы допустимых температур даны на стр. 143.

Нагрев силового трансформатора или дросселя происходит довольно медленно.

Типовая характеристика повышения рабочей температуры трансформатора показана на рис. 12. 53.

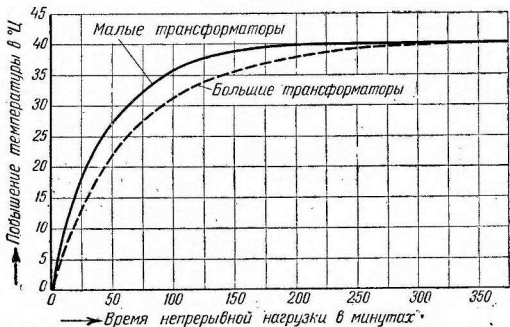


Рис. 12.53. Типовые кривые нагрева трансформаторов и дросселей приемно-усилительной установки.

8. *Расчет катушек.* Основная задача — определение размеров окна, в котором поместятся все намеченные расчетом катушки. Часто же эта часть расчета превращается в проверку, поместятся ли в окне сердечника, собранного из подходящих пластин, все обмотки.

Расчет занимаемого места весьма удобно производить, пользуясь данными таблицы, помещенной на стр. 140. Таблица эта сразу указывает количество витков различных сортов провода, приходящихся на каждый кв. сантиметр поперечного сечения катушки. Данные таблицы взяты из практики для случая плотной намотки витков.

По нахождении общей площади сечения, занимаемой всеми обмотками, делается накидка, учитывающая место, занимаемое изоляционными прокладками, утолщенными отводами и каркасом, на котором наматываются обмотки. Эта накидка делается на-глазок или примерным расчетом в зависимости от толщины и числа прокладок, стенок каркаса и пр. Площадь окна,

занимаемая прокладками и каркасом, может даже превышать полезную площадь, занимаемую самой обмоткой.

Вся подчитанная площадь сечения катушки должна поместиться в окне данного типа трансформаторных пластин. Если железо еще не изготовлено, то размеры окна (разрез катушки) выбираются обычно в соотношении 1 : 1,5 (высота: длина).

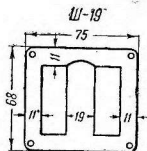


Рис. 12.54.

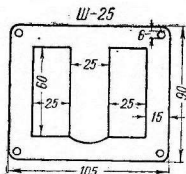


Рис. 12.55.

Из имеющихся часто на рынке трансформаторных пластин для массовых типов аппаратуры чаще всего встречается железо типа Ш-19 и Ш-25. Размеры этого железа даны на рис. 12.54 и 12.55. На этом и заканчивается расчет малоомощного силового трансформатора. Дополнительные расчетные сведения, могущие понадобиться при расчетах:

1) Максимальная индукция железа, получаемая при данном методе расчета, — 8000 гс.

2) Вес железа в граммах определяется объемом в куб. сантиметрах, занимаемым сердечником, умноженным на 7 (удельный вес в г/см³ пакета из трансформаторных пластин).

3) Подсчет длины провода, необходимого для намотки той или иной обмотки, производится умножением числа витков данной обмотки на длину некоторого «среднего» витка, расположенного в середине данной обмотки.

Длина среднего витка равняется

$$\frac{\pi (D_{\max} + D_{\min})}{2} = 1,57 (D_{\max} + D_{\min}),$$

где $D_{\max}$ и $D_{\min}$ — диаметры витков крайнего наружного (максимального) и первого внутреннего (минимального) слоев рассматриваемой обмотки. При катушках, имеющих прямоугольное сечение, средний виток легко находится из начерченных размеров данной обмотки.

4) Потери в железе при заданной максимальной индукции можно принимать от 1,5 до 2 вт на каждый килограмм железа, участвующего в пропускании магнитных силовых линий. Обычно рабочая часть железного сердечника составляет около 0,9 от общего веса железного пакета.

Напряжение, наводимое в обмотке (или подаваемое от постороннего источника тока), связано с остальными величинами трансформаторной цепи следующим основным уравнением

$$E = 4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_{\text{желез}} \cdot n \cdot 10^{-8} \text{ в,}$$

где E — напряжение в обмотке (в в),
 f — частота применяемого (синусоидального) тока (в гц),
 $B_{\max}$ — максимальная индукция в железе (в гс),
 $S_{\text{желез}}$ — действующее (за вычетом изолирующих прокладок) сечение железного сердечника (в кв. см),
 n — число витков обмотки.

Данная формула справедлива для расчета всех обмоток трансформатора, как первичной, так и вторичных. Максимальная допустимая индукция в железе зависит от сорта. Так, для кровельного железа допустима индукция в пределах 4000, для среднего качества динамного и трансформаторного железа 7000—8000 и для специальных сортов трансформаторного железа до 10 000 и даже больше. При увеличении индукции (свыше допустимой для данного сорта железа нормы) начинают быстро увеличиваться потери в железе, сердечник будет сильно нагреваться.

Сопротивление обмоток подсчитывается по обычной формуле:

$$R = \frac{0,0175 \cdot l}{S},$$

где коэффициент 0,0175 — удельное сопротивление меди при 15° Ц, l — длина провода в метрах и S — сечение меди в кв. миллиметрах. Для нагретого провода (трансформатор долгое время под нагрузкой) удельное сопротивление следует повышать до 0,020. На этом явлении нагревания и основано обычно определение рабочей температуры внутри трансформатора: измеряется сопротивление любой из внутренних обмоток при нормальной комнатной (принимается обычно 15° Ц) температуре и затем при полностью прогретом трансформаторе (R_T). Повышение температуры над нормальной определится в этом случае как $250 \cdot \frac{R_T - R_{15}}{R_{15}}$ °Ц.

Расчет сопротивления обмотки производится посредством предварительного подсчета длины среднего витка.

Сопротивление обмотки

$$R_1 = \frac{n_1 l_{\text{ср}}}{4500 d_1^2},$$

где n_1 — число витков той обмотки, для которой измеряется R_1 , $l_{\text{ср}}$ — средняя длина витка в сантиметрах, d — диаметр провода по меди в миллиметрах.

Приводимая на стр. 141 таблица дает, однако, возможность по объему, занимаемому катушкой, сразу определить примерное сопротивление провода этой катушки при различных сортах и диаметрах проволоки. Эта же таблица может пригодиться и для решения обратной задачи: заданы диаметр провода и сопротивление катушки; требуется определить объем, который займет эта катушка. Цифры этой таблицы, конечно, приблизительные, так как их может изменять качество изоляции данного провода и плотность намотки.

Приводим в табл. 12. 5 типовые расчеты четырех типов силовых трансформаторов, рассчитанных на массовую приемно-усилительную аппаратуру. Первые два типа трансформаторов рассчитаны на 1—2-ламповые приемники и выпрямитель на лампе ВО-125. Третий и четвертый типы — на многоламповые приемники и выпрямительное устройство с кенотроном ВО-116. Четвертый тип (100-ваттный) гарантирует полную мощность, потребную также и для обмотки подмагничивания динамика. Расчеты выполнены в ориентировке на трансформаторное железо толщиной 0,35—0,5 мм, до-

пускающее максимальную индукцию примерно до 8000 силовых линий на кв. миллиметр. Провод рассчитан на плотность 1,8—2,0 а/мм². Данные обмоток рассчитаны для укладки их на каркасе в следующем порядке: первой мотается первичная, затем идет повышающая, потом кенотронная и накальная.

В табл. 12.6 даны ориентировочные данные для расчета потребных для этих трансформаторов материалов: веса и длины провода для обмоток и веса железа. Данные эти годны при Ш-образном сердечнике с квадратной формой сечения сердечника. При сборке сердечника из Г-образных пластин толщина пакета железных пластин берется обычно несколько больше (до 1,5) ширины пластин. Железа для этого типа сердечника требуется обычно на 15—20% больше, чем при Ш-образной форме пластин. Меди расходуется, примерно, столько же.

Таблица 12.4

Данные фильтровых дросселей

№ п. п.	Тип	Число витков	Диаметр провода в мм	Омические сопротивле- ния в ом	Сечение сердечника в см ²
1	Д-2	10 000	0,15	1 100	4
2	Д-3 ст.	6 000	0,35	300	10
3	Д-3 нов.	7 000	0,20	650	8,6
4	ДВ-16	7 000	0,20	650	8,6
5	ДФ-1	10 000	0,18	1 080	7,5
6	ЛВ-2	12 500	0,15	1 400	2,2
7	ДЛС-2	15 000	0,15	1 800	4,2
8	В-10	1 300	0,18	200	7,5
9	ДМ-1	6 000	0,30	140	12
10	МД-1	4 500	0,35	200	13,5
11	ДС-60	7 000	0,2	500	7
12	МД-8	4 900	0,38	190	20
13	СВД-1	6 800	0,12	—	—
14	СВД-М	6 500	0,13	—	—

Силовые трансформаторы для приемно-усилительных установок

Расчетная мощность	Сечение сердечника	Первичная обмотка						Повышающая обмотка						Накал кенотрона					Накал лампы приемника и усилителя																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		110 в			220 в			Действующее напряжение	Число витков w	Диаметр провода	Выпрямл. ток			в	ма	амп	а	вт	мм	Действующее напряжение	Сила тока	Потребляемая мощность	Число витков w	Диаметр по метри	Действующее напряжение	Сила тока	Потребляемая мощность	Число витков w	Диаметр по метри																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
мм	мм	а	мм	мм	а	ма	амп				мм	в	ма																	амп	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в	а	вт	мм	в

Таблица 12. 6

Расход материалов на трансформаторы (см. табл. 12.5)

Рассчитанная мощность	Вес сердечника	Первичная обмотка						Повышающая обмотка			Кенотронная обмотка			Начальная обмотка		
		410 в			220 в			Длина провода	Сопротивление обмотки	Вес провода	Длина провода	Сопротивление обмотки	Вес провода	Длина провода	Сопротивление обмотки	Вес провода
		Длина провода	Сопротивление обмотки	Вес провода	Длина провода	Сопротивление обмотки	Вес провода									
12	450	270	67	175	540	300	175	2 500	2 1100	75	16	0,75	60	17	0,60	801
25	750	215	30	250	430	110	275	2 625	2 625	200	13	0,60	50	14	0,22	140
50	1250	180	11	475	360	50	425	2 600	2 340	35	11	0,18	130	12	0,09	250
100	2100	130	4,5	600	260	16	675	2 575	2 150	750	9	0,15	100	10	0,05	350

РАСЧЕТ ОДНОЗВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

Фильтрами называются устройства, пропускающие токи определенных частот и ослабляющие токи всех других частот. Основные типы простых фильтров:

фильтр нижних частот — пропускающий токи всех частот ниже некоторой предельной частоты и ослабляющий токи всех частот выше этой предельной частоты;

фильтр верхних частот — пропускающий токи всех частот выше некоторой предельной частоты и ослабляющий токи всех частот ниже этой предельной частоты;

полосовой фильтр — пропускающий токи определенной полосы частот и ослабляющий токи всех частот, лежащих за пределами этой полосы;

заграждающий фильтр — ослабляющий токи определенной полосы частот и пропускающий токи всех частот, лежащих за пределами этой полосы.

Практически выполненные фильтры отличаются от перечисленных здесь идеальных тем, что пропускаемые частоты несколько ослабляются из-за потерь, имеющих место в самих фильтрах (главным образом — катушках). Задерживаемые частоты также частично проходят все же через фильтр.

Точный расчет многозвенных фильтров, в особенности с учетом потерь в катушках, является весьма сложным. Приводим далее формулы для расчета только однозвенных фильтров и их основные характеристики без учета действительных потерь. Во многих случаях такого упрощенного расчета вполне достаточно.

Фильтры типов «к» и «т»

Фильтр типа «к» характеризуется постоянством произведения кажущихся сопротивлений последовательных и параллельных плеч. Этот тип

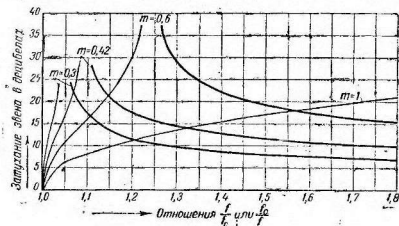


Рис. 12-56. Теоретические кривые затухания звена фильтра для разных значений m .

Кривые действительны для фильтров нижних и верхних частот. Частота f — рабочая, f_c — предельная (частота среза). Кривая для $m=1$ соответствует фильтру типа «к».

фильтра является более простым по схеме и наиболее часто применяем; Частотная характеристика его недостаточно крута.

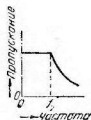
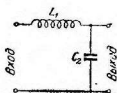
Фильтр типа «т» более сложен по схеме и расчету, обладает лучшей (более крутой и сложной) частотной характеристикой. В полосе задерживаемых частот имеет резко выделенную (задерживаемую) частоту, называемую «частотой бесконечного затухания». Коэффициент «т», входящий в расчетные формулы, может принимать значения от 0 до 1. Условие $t = 0$ соответствует фильтру без потерь (не реальный случай); при $t = 1$ фильтр типа «т» превращается в фильтр типа «к». Практически осуществляют конструкции для $t = 0,3-1$. Наиболее рекомендуемым является расчет фильтров для $t = 0,6$, так как этот вариант практически легко осуществить и, кроме того, обладает частотной характеристикой весьма желательной формы.

На рис. 12.56 показаны теоретические кривые затухания звена для разных значений t . Кривая для $t = 1$ является кривой фильтра типа «к».

Во всех нижеследующих формулах $R_{\text{входа}} = R_{\text{выхода}} = R$.

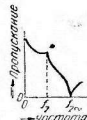
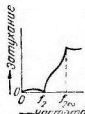
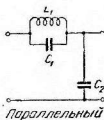
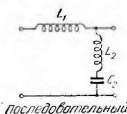
Фильтры нижних частот

А. Тип «к»



$$L_1 = \frac{R}{\pi f_2}; \quad C_2 = \frac{1}{\pi f_2 R}$$

В. Тип «т»



$$L_1 = \frac{mR}{\pi f_2}$$

$$L_2 = \frac{(1-m^2)R}{4m\pi f_2}$$

$$C_2 = \frac{m}{\pi f_2 R}$$

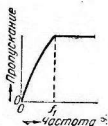
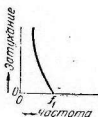
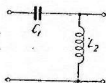
$$L_1 = \frac{mR}{\pi f_2}$$

$$C_1 = \frac{(1-m^2)}{4m\pi f_2 R}$$

$$C_2 = \frac{m}{\pi f_2 R}$$

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2}{f_{2\infty}}\right)^2}$$

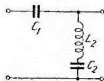
А. Тип «к»



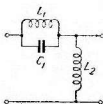
$$C_1 = \frac{1}{4\pi f_1 R}$$

$$L_2 = \frac{R}{4\pi f_1}$$

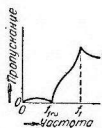
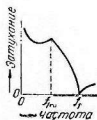
В. Тип «т»



Последовательный



Параллельный



$$C_1 = \frac{1}{4\pi f_1 m R}$$

$$L_2 = \frac{R}{4\pi f_1 m}$$

$$C_2 = \frac{m}{(1-m^2)\pi f_1 R}$$

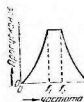
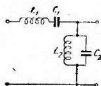
$$L_1 = \frac{mR}{(1-m^2)\pi f_1}$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi f_1 m R}$$

$$L_2 = \frac{R}{4\pi f_1 m}$$

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_1}{f_1^\infty}\right)^2}$$

А. Тип «к»



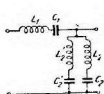
$$L_1 = \frac{R}{\pi(f_2 - f_1)}$$

$$L_2 = \frac{(f_2 - f_1) R}{4\pi f_2 f_1}$$

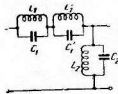
$$C_2 = \frac{(f_2 - f_1)}{4\pi f_2 f_1 R}$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1) R}$$

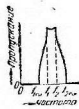
В. Тип «т»



Последовательный



Параллельный



$$L_1 = \frac{mR}{\pi(f_2 - f_1)}$$

$$L_1 = \frac{(f_2 - f_1) R}{4\pi f_2 f_1 b}$$

$$C_1 = \frac{(f_2 - f_1)}{4\pi f_2 f_1 mR}$$

$$C_1 = \frac{a}{\pi(f_2 - f_1) R}$$

$$L_2 = \frac{aR}{\pi(f_2 - f_1)}$$

$$L_1' = \frac{(f_2 - f_1) R}{4\pi f_2 f_1 a}$$

$$C_2 = \frac{(f_2 - f_1)}{4\pi f_2 f_1 bR}$$

$$C_1' = \frac{b}{\pi(f_2 - f_1) R}$$

$$L_2' = \frac{bR}{\pi(f_2 - f_1)}$$

$$L_2 = \frac{(f_2 - f_1) R}{4\pi f_2 f_1 m}$$

$$C_2' = \frac{(f_2 - f_1)}{4\pi f_2 f_1 aR}$$

$$C_2 = \frac{m}{\pi(f_2 - f_1) R}$$

$$m = \frac{h}{1 - \frac{f_1 f_2}{f_{2\infty}^2}}$$

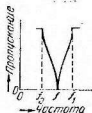
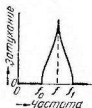
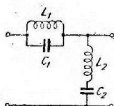
$$h = \sqrt{\left(1 - \frac{f_1^2}{f_{2\infty}^2}\right) \left(1 - \frac{f_2^2}{f_{2\infty}^2}\right)}$$

$$a = \frac{(1 - m^2) f_1 f_2}{4h f_{1\infty}^2} \left(1 - \frac{f_{1\infty}^2}{f_{2\infty}^2}\right)$$

$$b = \frac{(1 - m^2)}{4h} \left(1 - \frac{f_{1\infty}^2}{f_{2\infty}^2}\right)$$

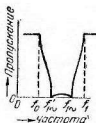
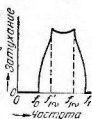
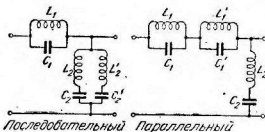
$$f_{1\infty} = \frac{f_1 f_2}{f_{2\infty}}$$

А. Тип «к»



$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \frac{(f_1 - f_0) R}{\pi f_0 f_1} & L_2 &= \frac{R}{4\pi (f_1 - f_0)} \\ C_1 &= \frac{1}{4\pi (f_1 - f_0) R} & C_2 &= \frac{(f_1 - f_0)}{\pi R f_0 f_1} \end{aligned} \right\} f = \sqrt{f_0 f_1}$$

В. Тип «м»



$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \frac{mR (f_1 - f_0)}{\pi f_0 f_1} & L_1 &= \frac{(f_1 - f_0) R}{\pi f_0 f_1 b} \\ C_1 &= \frac{1}{4\pi (f_1 - f_0) m R} & C_1 &= \frac{a}{4\pi (f_1 - f_0) R} \\ L_2 &= \frac{aR}{4\pi (f_1 - f_0)} & L_1' &= \frac{(f_1 - f_0) R}{\pi f_0 f_1 a} \\ C_2 &= \frac{(f_1 - f_0)}{\pi f_0 f_1 b R} & C_1' &= \frac{b}{4\pi (f_1 - f_0) R} \\ L_2' &= \frac{bR}{4\pi (f_1 - f_0)} & L_2 &= \frac{R}{4\pi (f_1 - f_0) m} \\ C_2' &= \frac{(f_1 - f_0)}{\pi f_0 f_1 a R} & C_2 &= \frac{m (f_1 - f_0)}{\pi f_0 f_1 R} \end{aligned} \right\}$$

$$m = \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{f_0^2}{f_{1\infty}^2}\right) \left(1 - \frac{f_1^2}{f_{1\infty}^2}\right)}{1 - \frac{f_0}{f_1}}}$$

$$a = \frac{1}{m} \left(1 + \frac{f_0 f_1}{f_{1\infty}^2}\right)$$

$$b = \frac{1}{m} \left(1 + \frac{f_{1\infty}^2}{f_0 f_1}\right)$$

$$f_{1\infty}' = \frac{f_0 f_1}{f_{1\infty}}$$

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

В связи с отсутствием ОСТ на испытания приемников приводим выдержки из последнего издания «Standards on Radio Receivers», 1938 г., выпущенного американским «The Institute of Radio Engineers». Стандарты относятся к испытаниям обычных всеволновых радиовещательных приемников с диапазоном от 540 до 23 000 кГц.

ОСНОВНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ

А. Стандартными частотами средневолнового диапазона называется группа семи частот: 540, 600, 800, 1000, 1200, 1400 и 1600 кГц. Кроме того, используется группа трех стандартных частот в 600, 1000 и 1400 кГц.

В. Стандартные входные напряжения имеют четыре значения:

1. Сигнал «дальнего приема» на 86 дБ ниже одного вольта или 50 мкВ.
2. Сигнал «среднего приема» на 46 дБ ниже одного вольта и равен 5000 мкВ.
3. Сигнал «местного приема» на 20 дБ ниже одного вольта и составляет 100 000 мкВ.
4. Максимальный сигнал выбран на 6 дБ выше одного вольта и составляет 2 в.

С. Напряжение входа при измерении чувствительности определяется в децибелах ниже 1 в или в микровольтах и представляет собой минимальное напряжение основной частоты (модулированное на 30% при частоте 400 Гц), поданное к приемнику через антенный эквивалент и дающее нормальную выходную мощность.

Д. Избирательность определяется в децибелах или отношением подаваемых (при неизменной мощности на выходе) напряжений резонансной частоты и другой, отличающейся на целое число каналов по 10 кГц. Часто применяется термин «ослабление соседнего канала», означающий избирательность при расстройке на ± 10 кГц.

Е. Ширина пропускаемой полосы частот определяется из кривой избирательности, однако требуемые для измерения децибелы избирательности не стандартизируются.

Г. Нормальная выходная мощность.

1. Для приемников с номинальной выходной мощностью от одного ватта и выше нормальная выходная мощность устанавливается 0,5 Вт в нагрузочном эквиваленте.

2. Для приемников с номинальной мощностью в 0,1—1,0 Вт за нормальную мощность принимается 0,05 Вт в нагрузочном эквиваленте.

Г. Мощность интерференционного сигнала устанавливается на 30 дБ меньше нормальной выходной мощности (отношение мощностей 1000 : 1). Испытание ведется при одновременной подаче обоих сигналов.

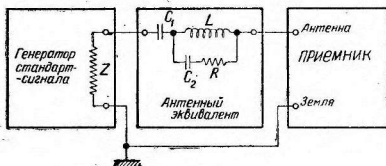
Н. Номинальная мощность (максимальная неискаженная отдаваемая мощность).

За максимальную неискаженную мощность условно принята мощность, при которой мощность гармоник составляет 1% от мощности основной частоты. Это соответствует среднеквадратичному напряжению гармоник 10% от напряжения для основной частоты при нагрузке, имеющей только активное сопротивление.

Стандартная антенна

За стандартную антенну принимается открытая однопроводная антенна с действующей высотой в 4 м, имеющая для диапазона частот 540—1600 кГц в основном то же сопротивление, что и последовательный контур, состоящий

из емкости в 200 мкмкф, индуктивности в 20 мкгн и сопротивления в 20 ом. Основная частота стандартной антенны близка к 2500 кГц, характери-



$$\begin{aligned} C_1 &= 200 \text{ мкмкф} & L &= 20 \text{ мкгн} \\ C_2 &= 400 \text{ мкмкф} & R &= 400 \text{ ом} \end{aligned}$$

Рис. 12.57. Схема включения антенного эквивалента для испытания приемника.

ческое сопротивление около 550 ом (для гармоник в среднем около 400 ом). Испытания обычно производятся с антенным эквивалентом, схема и данные которого приведены на рис. 12.57 и 12.58. Действующие значения L , C и R должны иметь допуск $\pm 10\%$.

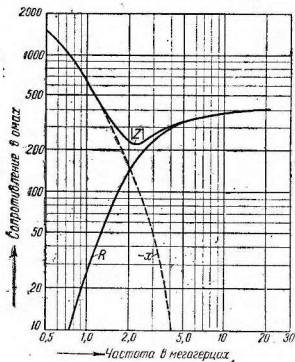


Рис. 12.58. Характеристика антенного эквивалента, известного как по величине (напряжения), так и по частоте.

Общая схема испытания приемников

Можно считать, что схема испытания приемников и необходимая для этого аппаратура достигли уже уровня стандарта. Общая схема со всеми необходимыми пояснениями приведена на рис. 12.59. В эту схему не включено соединение второго стандарт-генератора, необходимого при двухсигнальном испытании.

Основным измерительным устройством является стандарт-генератор, т. е. генератор, позволяющий подавать на вход прием-

Стандарт-генератор должен иметь непрерывный диапазон частот, перекрывающий весь рабочий диапазон испытуемого приемника. Обычный стандарт-генератор имеет непрерывный диапазон от 150 до 23 000 кГц (в США от 540 до 23 000 кГц); внутри генератора содержится модуляторное устройство на постоянную частоту 400 Гц, одновременно имеется переключатель на внешний модулирующий источник с непрерывным диапазоном от 30 до 10 000 Гц.

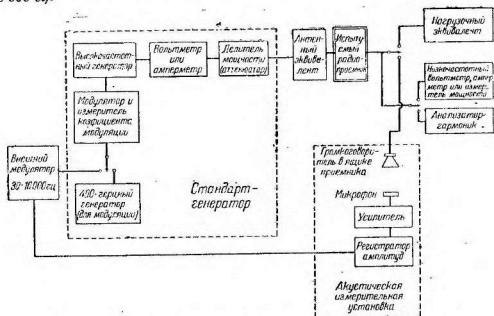


Рис. 12.59. Общая схема установки для испытания радиоприемников.

Стандарт-генератор должен давать на выходе от 0,5 до 100 000 мкв в непрерывном перекрытии и 2—5 в для испытания приемника в сильном электрическом поле. Выходное напряжение стандарт-генератора должно быть известно с точностью до $\pm 10\%$ в радиовещательном диапазоне и с допуском 25% на коротковолновых участках диапазона.

Частотная градуировка должна обеспечивать указание частоты с точностью до $\pm 1\%$. В тех случаях, когда производится снятие кривой избирательности и двухсигнальное испытание, стандарт-генератор должен позволять частичное изменение настройки с точностью не менее 0,1% от несущей частоты. Модуляторная часть должна давать указанную частоту с точностью до 2% и клирфактором менее 2%.

Стандартным коэффициентом модуляции установлен коэффициент в 30%. Однако для испытаний приемников на перегрузку и для снятия характеристик нелинейных искажений стандарт-генератор должен позволять непрерывное изменение глубины модуляции до 90 и даже до 100%.

Делитель мощности (аттенюатор) может быть любого типа, однако он должен давать непрерывную регулировку по всему диапазону и иметь выходное сопротивление достаточно малой величины по сравнению с сопротивлением антенного эквивалента. Градуировка выхода делителя должна быть отградуирована в микровольтах или в децибелах ниже одного вольта. Регулировка делителя не должна вызывать изменения несущей частоты стандарт-

генератора. При делителях кнопочного типа число положений переключателя должно обеспечивать регулировку в пределах 10% любого требуемого напряжения. Выходное сопротивление делителя должно представлять только активное сопротивление.

Измеритель искажений должен позволять определять общее низкочастотное искажение с точностью около 5% в пределах между 0,5 и 30% от основной частоты. Измеритель искажений может быть двух типов:

а) Тип, позволяющий непосредственно измерять отношение между эффективным значением всех составляющих частот до 5000 или 10 000 гц и амплитудой основной частоты (обычно основная частота выбирается равной 400 гц). Этот тип аппаратуры состоит в основном из измерителя выходной мощности, включенного через фильтр, задерживающий основную частоту. Первоначальный отсчет выходной мощности производится с выключенным фильтром.

б) Устройство, позволяющее производить измерения отдельно для основной частоты и в отдельности для каждой гармоники. Различные варианты аппаратуры данного типа состоят в основном из набора электрических фильтров, позволяющих учитывать частоту до 4-й гармоники включительно.

Двухсигнальное испытание избирательности

Простейшее испытание избирательности приемника заключается в следующем. Приемник настраивается поочередно на каждую испытательную

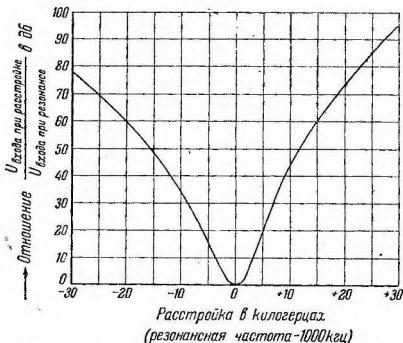


Рис. 12.60. Типовая кривая избирательности приемника при односигнальном испытании.

частоту (модуляция 30% при 400 гц) до получения нормальной мощности на выходе. Стандарт-генератор после этого расстраивается по обе стороны

от резонансной частоты и входное напряжение увеличивается до получения неизменной нормальной мощности на выходе. Отсчеты делают не реже чем через 10 кГц до расстройки 100 кГц от резонансной частоты или ближе, если будет уже достигнуто относительное повышение сигнала в 10 000 раз. По полученным отсчетам наносится график, типовой пример которого приведен на рис. 12.60.

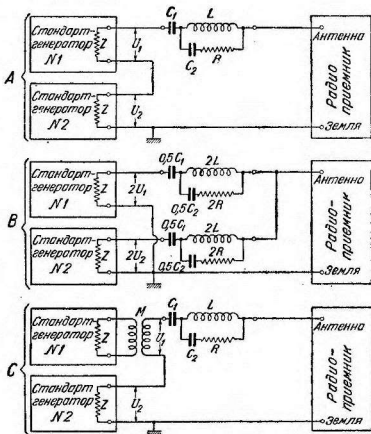


Рис. 12.61. Схемы включения двух стандарт-генераторов при двухсигнальном измерении избирательности приемника.

А—прямое последовательное включение, В—параллельное включение, С—последовательное включение через трансформатор.

Описанная простейшая кривая избирательности, однако, не является действительной характеристикой избирательности приемника, так как эта кривая снимается только при наличии единственно действующего сигнала. В рабочих условиях прием производится приемником при наличии мешающих сигналов, от которых он и должен отстраиваться. Наличие второго (мешающего) сигнала может в весьма сильной степени отразиться на избирательности, поэтому в данное время производится дополнительно к снятию общей (односигнальной) кривой избирательности еще испытание приемника

на двухчастотный сигнал. Принято производить измерение мешающего сигнала, производящего помеху, равную 0,001 от нормальной выходной мощности принимаемого сигнала (оба сигнала имеют одинаковую глубину модуляции). Испытание производится при помощи двух стандарт-генераторов в следующем порядке.

Приемник настраивается на одну из проверочных частот при одном из стандартных напряжений входа. Регулятором громкости приемника

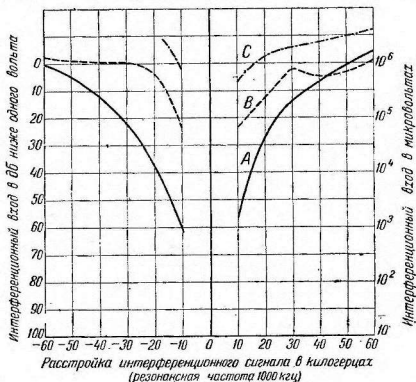


Рис. 12.62. Типовые характеристики избирательности приемника при воздействии интерференционного сигнала (двухсигнальное испытание).

Кривые A — основной сигнал напряжением 50 мкВ
 » B — » » » 5000 »
 » C — » » » 100 000 »

устанавливается нормальная мощность на выходе при сигнале стандарт-генератора, модулированном на 30% при частоте 400 гц. Затем модуляция стандарт-генератора снимается и на приемник продолжает поступать неизменная несущая частота первого стандарт-генератора. Одновременно на вход приемника (по одной из схем рис. 12.61) подается от второго стандарт-генератора интерференционный сигнал, модулированный на 30% при частоте 400 гц. Измерения производятся до расстройки 100 кГц, причем отсчеты записываются не реже чем через каждые 10 кГц расстройки от частоты первого стандарт-генератора. Напряжения входа интерференционного сигнала увеличиваются при каждом отсчете до получения на выходе установленной мощности интерференционного сигнала. Расстройка меньше чем в 5 кГц

от основной частоты не используется. Типовые кривые двухсигнальной избирательности показаны на рис. 12. 62.

Испытание приемника при приеме на рамку

При испытании приемников, работающих от приемной рамки вместо антенны, необходимо знать напряжение, наводимое в рамке от стандарт-генератора или во всяком случае величину силы поля, окружающего рамку. Действующая высота рамки легко определяется по основной формуле:

$$h_e = \frac{2\pi SN}{\lambda},$$

где h_e — действующая высота рамки в м,
 N — число витков рамки,
 S — площадь одного витка в м^2 ,
 λ — рабочая длина волны в м.

При испытаниях применяются два метода:

А. Выходное сопротивление стандарт-генератора включается последовательно с рамкой и переменным конденсатором настройки входного (рабочного) контура. Этот метод применяется редко, так как обладает недостатками: а) выходное сопротивление стандарт-генератора должно быть мало по сравнению с действующим сопротивлением рамочной цепи и б) собственная емкость рамки должна быть весьма мала по сравнению с емкостью переменного конденсатора настройки.

В. Рамка включается обычным способом к входным клеммам приемника и необходимое напряжение наводится в рамке индуктивным путем от вспомогательной катушки, включенной на выходе стандарт-генератора. Схема соединений показана на рис. 12. 63. Рамка и катушка L располагаются па-

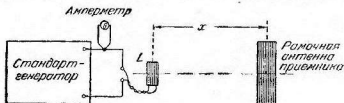


Рис. 12.63.

раллельно и коаксиально. Расстояние между катушками (x) должно не менее чем в 2 раза превышать размеры рамки. Эквивалентная сила поля в месте расположения витков рамки приемника (см. рис. 12. 63) может быть определена из формулы:

$$E = \frac{N_1 R_1^2 I_1}{19x^3}$$

где E — эквивалентная сила поля в мкв/м
 N_1 — число витков катушки L ,
 R_1 — радиус катушки L в см,
 I_1 — сила тока в катушке L в ма,
 x — расстояние между катушками в м.

Этот способ весьма удобен и часто применяется:

ЛАМПОВЫЙ ГЕНЕРАТОР И ПЕРЕДАТЧИК МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ламповые генераторы для целей радиопередачи (даже наиболее мало-мощные) в настоящее время строятся исключительно по принципу независимого возбуждения. В соответствии с этим разберем в первую очередь расчет усилительных и удвоительных каскадов, а затем остановимся на самовозбуждающихся генераторах, применяющихся лишь в качестве возбудителей многокаскадных генераторов. Приведенные расчеты относятся к передатчикам малой и средней мощности.

РЕЖИМ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Мы опускаем расчет генераторов на колебания I рода (синусоидальные колебания или колебания без отсечки), так как они слишком невыгодны как в отношении полезной мощности, так и по коэффициенту полезного действия (к.п.д.). Практически генераторы почти всегда работают колебаниями II рода (колебаниями с отсечкой). Наш расчет будет дан для колебаний II рода при условии нормального, неперенапряженного режима. В этом случае, наиболее важном для практики, анодный ток представляет так называемые остроконечные или косинусоидальные импульсы (рис. 13.1).

Принципиальная упрощенная схема одного усилительного каскада изображена на рис. 13.3. Расчет этой схемы будем основывать на идеализированной прямолинейной характеристике лампы $i_a = f(e_a)$, изображенной на рис. 13.2.

Здесь величина E_{p0} , соответствующая точке пересечения идеализированной характеристики для данного анодного напряжения с горизонтальной осью, называется напряжением приведения по сетке и является важным параметром генераторных ламп. Иначе говоря, — это сеточное напряжение начальной точки идеализированной характеристики. Для многих ламп E_{p0} , а также остальные важнейшие параметры даны в табл. 13.4 на стр. 566.

Величину E_{p0} можно найти непосредственно из характеристик, заменяя реальные криволинейные характеристики прямолинейными идеализированными.

Следует отметить, что расчет генератора по идеализированным характеристикам получается приближенным, но для технических расчетов большая точность не нужна, да ее и вообще трудно получить ввиду неоднородности параметров и характеристик.

Основным практическим случаем являются подбор ламп и расчет режима для получения заданной полезной колебательной мощности в контуре (P_R) условии, чтобы к. п. д. η был по возможности максимален.

Подбор лампы производим по приближенной формуле

$$P_k \approx 0,2 I_s E_a. \quad (1)$$

Параметры I_s и E_a берем из таблицы ламп. Эта формула определяет возможность получения от лампы заданной мощности.

Кроме того, необходимо сделать предварительный грубый подсчет мощности рассеяния на аноде P_a , взяв заведомо преуменьшенный к. п. д. порядка 0,5—0,6 для

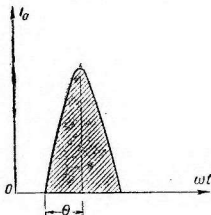


Рис. 13.1.

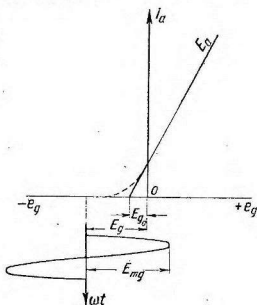


Рис. 13.2.

маломощных ламп и 0,6—0,7 для ламп средней мощности. Это делается по формуле

$$P_a = P_k \frac{1 - \eta}{\eta} \leq P_{a \max}. \quad (2)$$

Вычисленная мощность P_a не должна превышать максимально допустимое рассеяние на аноде $P_{a \max}$, которое дано в той же таблице ламп.

Этот подбор по обеим формулам надо делать обязательно, так как многие лампы по своим I_s и E_a могли бы развить нужную P_k , но обладают слишком малым $P_{a \max}$. В этом случае иногда прибегают к параллельному или двухтактному включению ламп, о чем будет сказано дальше.

Продолжаем расчет с одной лампой. Пусть выбранная лампа имеет параметры I_s , E_a , $P_{a \max}$, D , S , E_{g0} .

Находим максимальный импульс анодного тока $I_{a \max}$ из формулы (1):

$$I_{a \max} = \frac{5 P_k}{E_a}. \quad (3)$$

После этого необходимо проверить, не превышает ли $I_{a \max}$ ток насыщения I_s , т. е. соблюдается ли неравенство

$$I_{a \max} < I_s.$$

Если получится $I_{a\max} > I_s$, то значит нужно включить две лампы в параллель или взять более мощную лампу.

Находим коэффициент использования анодного напряжения ξ , равный $\frac{E_{ma1}}{E_a}$, где E_{ma1} — амплитуда 1-й гармоники переменного анодного напряжения:

$$\xi \approx 1 - \frac{I_{a\max}}{SE_a} \quad (4)$$

Найденное значение ξ определяет критический режим работы генератора. Рекомендуется несколько уменьшить ξ (на 3—5%), чтобы режим был недонапряженный. Определяем E_{ma1} .

$$E_{ma1} = \xi \cdot E_a. \quad (5)$$

Затем определяем амплитуду 1-й гармоники анодного тока I_{ma1} :

$$I_{ma1} = \frac{2P_k}{E_{ma1}}. \quad (6)$$

Находим коэффициент 1-й гармоники анодного тока α_1 :

$$\alpha_1 = \frac{I_{ma1}}{I_{a\max}}. \quad (7)$$

Зная α_1 , из табл. 13.1 определяем угол отсечки θ и коэффициент постоянной составляющей α_0 , по которому находим постоянную составляющую анодного тока I_a :

$$I_a = \alpha_0 \cdot I_{a\max}. \quad (8)$$

Подводимая мощность будет:

$$P = I_a \cdot E_a. \quad (9)$$

Мощность рассеяния на аноде:

$$P_a = P - P_k. \quad (10)$$

При этом полезно еще раз проверить выполнение условия $P_a < P_{a\max}$. Коэффициент полезного действия равен:

$$\eta = \frac{P_k}{P}. \quad (11)$$

Напряжение возбуждения (амплитуда переменного напряжения на сетке

$$E_{mg} = \frac{I_{a\max}}{S(1 - \cos \theta)} + DE_{ma1}. \quad (12)$$

¹ Угол отсечки θ есть половина продолжительности импульса анодного тока, выраженная в градусах (считая весь период за 360°).

Таблица 13.1

θ°	α_0	α_1	α_2	θ°	α_0	α_1	α_2
40	0,149	0,279	0,243	85	0,304	0,485	0,225
45	0,165	0,311	0,257	90	0,319	0,500	0,210
50	0,183	0,342	0,267	95	0,335	0,510	0,189
55	0,200	0,370	0,273	100	0,351	0,518	0,168
60	0,218	0,391	0,276	105	0,366	0,525	0,148
65	0,237	0,409	0,273	110	0,380	0,529	0,128
70	0,256	0,427	0,267	115	0,394	0,533	0,103
75	0,274	0,445	0,257	120	0,406	0,535	0,090
80	0,289	0,465	0,240				

Отрицательное смещение на сетке:

$$E_g = E_{g0} - (E_{mg} - DE_{ma1}) \cos \theta. \quad (13)$$

Проверяем, соблюдается ли условие недонапряженного режима:

$$E_g + E_{mg} < E_a - E_{ma1}.$$

Наконец, определяем сопротивление анодного контура:

$$Z_k = \frac{E_{ma1}}{I_{ma1}} \quad (14)$$

На этом расчет режима заканчивается. Электрический расчет деталей схемы будет дан ниже.

Если одна лампа не развивает необходимой P_k , а более мощную лампу применить нельзя по тем или иным причинам, то обычно прибегают к параллельному или последовательному (двухтактному) включению двух (реже большего числа) ламп. Если соединить параллельно n одинаковых ламп с параметрами $I_s, E_a, P_{a\max}, D, S, R_i$, то их можно считать эквивалентными

одной лампе с параметрами $nI_s, E_a, nP_{a\max}, D, nS, \frac{R_i}{n}$. Поэтому расчет можно

вести прежним путем, взяв эти эквивалентные параметры. Можно поступить и иначе, а именно: вести расчет для одной лампы и затем увеличить в n раз $P_k, P_a, P, I_{ma1}, I_a$, уменьшить в n раз Z_k , а остальные параметры режима оставить без изменения.

Следует заметить, что применять параллельное соединение можно только в крайнем случае, так как оно обладает рядом существенных недостатков. К ним относятся: 1) возрастание паразитной емкости между электродами; 2) трудность осуществления во многих случаях контура с малым Z_k ; 3) вредное влияние неоднородности ламп на работу генератора. Особенно плохо работают параллельно лампы на коротких волнах, на которых не следует соединять более двух ламп. Благодаря указанным недостаткам увеличение мощности фактически получается при присоединении каждой следующей лампы не на 100% мощности при одной лампе, а значительно меньше.

В среднем считают, что на длинных волнах каждая следующая параллельно включаемая лампа дает прирост мощности на 70—90%, а на коротких волнах включение второй лампы увеличивает P_k лишь на 40—60%. Поэтому следует всегда стремиться к увеличению мощности применением более мощной лампы или двухтактным включением.

ДВУХТАКТНАЯ СХЕМА

Двухтактное включение (рис. 13.4) особенно выгодно для коротких волн, так как при нем междуэлектродные емкости соединяются последо-

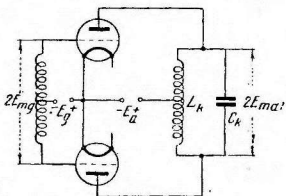


Рис. 13.4. Упрощенная схема двухтактного усилительного каскада.

вательно, отчего их общая величина и влияние на работу схемы уменьшаются. В проводах питания отсутствуют все нечетные гармоники, в том числе и первая, что улучшает стабильность частоты и режима. Кроме того, в контуре отсутствуют четные гармоники и, следовательно, передатчик излучает меньше паразитных мешающих волн. Основной недостаток двухтактной схемы — это необходимость однородности ламп и симметрии схемы (неодинаковость ламп можно несколько «исправить» нарушением симметрии).

Расчет двухтактного усилительного каскада ведется точно так же, как и одноконтурной схемы. Для случая заданной P_k нужно сделать расчет для одной

лампы на $\frac{1}{2} P_k$. Получив все данные режима одной лампы, нужно для применения их ко всей схеме сделать следующее. Для получения колебательного напряжения на контуре нужно удвоить $E_{мад}$. Напряжение возбуждения E_{mg} , полученное из расчета, относится к одной лампе; на всю схему следует подавать раскачку в $2 E_{mg}$. Ясно, что P и P_k получатся тоже удвоенные по сравнению с одной лампой. И наконец, из-за удвоения $E_{мад}$ также вдвое увеличится Z_k контура. Все остальные данные относятся не ко всей схеме, а к отдельным лампам и поэтому остаются без изменений. Так как в двухтактной схеме напряжение на контуре удваивается, то для колебательных токов и напряжений эту схему можно назвать последовательным включением ламп.

Увеличение Z_k при двухтактной схеме во многих случаях облегчает устройство контура.

РЕЖИМ УДВОИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Расчет каскадов удвоения частоты преследует цель получения режима максимальной P_k , так как вопрос о высоком к. п. д. ввиду сравнительно малой мощности совершенно отпадает. Сначала разберем расчет одноконтурного удвоителя, схема которого ничем не отличается от обычного усилителя (рис. 13.3). Только смещение на сетку в удвоителе берется значительно

больше, чем в усилителе, и анодный контур рассчитывается на удвоенную частоту по сравнению с частотой возбуждения. Режим удвоителя требует особого расчета.

Как и в усилителе будем основывать расчет на работе косинусоидальным импульсом. Пусть нам задана лампа или P_k . В последнем случае производим подбор лампы по приближенной формуле для P_k удвоителя:

$$P_k = 0,1 E_a I_s. \quad (15)$$

Проверку намечаемой лампы по рассеянию на аноде можно сделать, исходя из того, что к. п. д. удвоителя обычно бывает порядка 50—60%. Взяв значение $\eta = 0,5$, мы имеем:

$$P_a = P_k \leq P_{a \max}.$$

Имея параметры лампы $I_s, E_a, P_{a \max}, D, S$ и E_{g0} , находим все основные данные режима.

Определяем максимальный импульс анодного тока из формулы (15):

$$I_{a \max} = \frac{10 P_k}{E_a}. \quad (16)$$

Коэффициент использования анодного напряжения по формуле (4) равен:

$$\xi = 1 - \frac{I_{a \max}}{SE_a}. \quad (4)$$

Для получения недонапряженного режима рекомендуется уменьшить найденное значение ξ на 4—6%.

Амплитуда переменного анодного напряжения

$$E_{ma_2} = \xi \cdot E_a. \quad (5)$$

Удвоитель обычно работает с углами отсечки θ порядка 40—60°, причем максимальная мощность второй гармоники получается при $\theta = 60^\circ$. Поэтому при расчете обычно задаются величиной $\theta = 50—60^\circ$. И по отсечке θ из табл. 13. I узнают коэффициент постоянной составляющей анодного тока α_0 и коэффициент второй гармоники α_2 . По этим коэффициентам находим токи:

$$I_a = \alpha_0 \cdot I_{a \max} \quad (8)$$

$$I_{ma_2} = \alpha_2 \cdot I_{a \max}. \quad (17)$$

Полезная мощность определится по формуле:

$$P_k = \frac{1}{2} E_{ma_2} \cdot I_{ma_2} \quad (18)$$

Подводимая мощность будет:

$$P = E_a \cdot I_a. \quad (9)$$

Мощность рассеяния на аноде равна:

$$P_a = P - P_k. \quad (10)$$

На всякий случай следует проверить соблюдение $P_a \leq P_{a \max}$.

При $P_a > P_{a \max}$ нужно сделать пересчет для несколько меньшего угла отсечки θ .

Наконец, к. п. д. узнаем из соотношения P_k и P :

$$\eta = \frac{P_k}{P}. \quad (11)$$

Амплитуда возбуждения будет:

$$E_{mg} = \frac{I_{a \max}}{S(1 - \cos \theta)} + 2DE_{ma_2}(1 + \cos \theta). \quad (19)$$

Смещение на сетке:

$$E_g = E_{g0} - E_{mg} \cos \theta + DE_{ma_2} \cos 2\theta. \quad (20)$$

Для проверки недонапряженности режима посмотрим, обеспечено ли условие

$$E_g + E_{mg} \leq E_a - E_{ma_2}.$$

В заключение расчета находим сопротивление контура для второй гармоники анодного тока:

$$Z_k = \frac{E_{ma_2}}{I_{ma_2}}. \quad (14)$$

На этом электрический расчет удвоителя закончен.

Иногда, хотя и очень редко, в однотактном удвоителе включают две или даже большее число ламп параллельно. К такому включению можно отнести все то, что было сказано о включении ламп параллельно в усилителе.

Значительно лучше применить для увеличения мощности двухтактную схему, изображенную на рис. 13. 5, которая к тому же обладает также лучшими «удвоительными» качествами, чем однотактная схема.

Это объясняется тем, что в контуре двухтактного удвоителя, включенном в провод анодного питания, согласно общему свойству всех двухтактных схем отсутствуют печетные гармоники и в том числе основная частота (1-я гармоника), вредная для работы удвоителя. Схему двухтактного удвоителя уже нельзя считать для колебательных токов и напряжений последовательным включением. В ней так же, как и при параллельном соединении

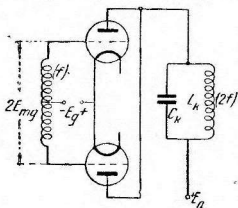


Рис. 13.5. Упрощенная схема удвоительного каскада.

двух ламп, удваивается I_{ma_2} , I_a , F_a , P . Напряжение возбуждения для всей схемы должно быть тоже взято в $2 E_{mg}$. Сопротивление контура Z_k уменьшается вдвое, а не увеличивается, как в двухтактном усилителе. Остальные данные режима не меняются. Таким образом имеем полную аналогию с параллельным соединением двух ламп. Разница лишь в том, что при последнем увеличение мощности получается из-за удвоения I_a , а в двухтактной схеме — благодаря удвоению числа импульсов анодного тока, следующих через каждую полупериод. Ясно, что расчет двухтактного удвоителя можно вести на одну его лампу, а затем сделать указанные выше изменения полученных данных.

ПОТЕРИ В ЦЕПИ СЕТКИ И РАСЧЕТ ГРИДЛИКА

Расчет мощности потерь в цепи сетки P_g , т. е. мощности возбуждения, нужен для того, чтобы подсчитать мощность P_k возбудителя или промежуточного каскада, необходимую для раскачки следующего более мощного каскада. К сожалению, точный расчет P_g очень затруднителен и приходится пользоваться приближенными формулами. Одной из таких формул для грубого подсчета P_g будет

$$P_g \approx 0,9 E_{mg} \cdot I_g, \quad (21)$$

где I_g — постоянная слагающая сеточного тока, равная 0,1 — 0,2 постоянной слагающей анодного тока I_a . В среднем ее следует брать 0,15 I_a . Для самовозбуждающихся генераторов можно взять $I_a = 0,2 I_a$.

Несколько более точный подсчет P_g может дать формула

$$P_g \approx \alpha_g \cdot I_g E_{mg}, \quad (22)$$

где α_g — некоторый коэффициент, зависящий от отсечки сеточного тока θ_g . Величину α_g находим из табл. 13.2, определив предварительно θ_g по формуле

$$\cos \theta = \frac{E_g}{E_{mg}}. \quad (23)$$

Однако и эта формула дает неточные результаты из-за недостаточной определенности I_g . Обе формулы дают несколько преуменьшенные значения P_g , и поэтому для большей гарантии следует увеличивать рассчитанную P_g на 10—20%. У работающего генератора можно непосредственно измерить I_g , и тогда подсчет по формуле (22) даст довольно точный результат.

Расчет сопротивления гридлика R_g ведется по формуле Ома

$$R_g = \frac{E_g}{I_g}. \quad (24)$$

О приближенном значении I_g было сказано выше.

Емкость гридлика C_g для телеграфного передатчика определяется неравенством

$$C_g \geq 5500 \frac{\lambda_{\max}}{R_g}, \quad (25)$$

где $\lambda_{\max}$ — максимальная волна передатчика (верхний предел его диапазона). В формуле (25) C_g получается в сантиметрах, микромикрофарадах, а длина волны, как и везде дальше, берется в метрах.

Таблица 13.2

θ_g°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
α	1,0	1,0	1,0	0,99	0,98	0,96	0,92	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70	0,66

ДЕТАЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Величины индуктивности анодных дростелей L_a и емкости конденсаторов C_a (разделительного при параллельном питании и блокирующего

при последовательном) могут быть для телеграфного передатчика определены по формулам

$$L_a = 0,0025 Z_k \cdot \lambda_{\max}; \quad (26)$$

$$C_a \geq \frac{55\,000 \lambda_{\max}}{Z_k}. \quad (27)$$

Здесь L_a получается в микрогенри, а C_a в микромикрофарадах. В конструктивном отношении L_a следует выполнять в виде однослойной цилиндрической катушки, расчет которой изложен в главе IV «Индуктивность и катушки». Основное условие для хорошего дросселя — малая собственная емкость. При расчете конструктивных данных дросселя следует брать отношение диаметра D к длине l от 0,4 до 0,8 и толщину провода подбирать, исходя из плотности тока $4-5 \text{ а/мм}^2$, учитывая полный ток, проходящий через дроссель и складывающийся геометрически из постоянной слагающей I и эффективного значения переменной слагающей I_e

$$I = \sqrt{I^2 + I_e^2}. \quad (28)$$

Так как обычно диаметр дросселя берется небольшим, то для приближенного расчета можно с успехом применить графики на стр. 197 и 198 для катушек с диаметром 3 и 4 см.

Конденсатор C_a должен иметь рабочее напряжение не ниже анодного.

РАСЧЕТ КОНТУРА

Анодный контур генератора должен удовлетворять двум условиям: 1) давать настройку на рабочую волну или даже на известный диапазон волн; 2) представлять для ламп нагрузку определенной величины Z_k , вычисленную по формулам (14).

Для выполнения первого условия L_k и C_k контура должны быть связаны между собой определенным соотношением, которым является известная формула Томсона (стр. 269).

Так как обычно на практике приходится менять волну, а иногда и режим передатчика, то контуры делают разных типов, для того чтобы можно было создать необходимую величину Z_k .

Рассмотрим три основных типа контуров.

1) *Простой контур*. Этот контур (рис. 13. 6, а) включается в анодную цепь полностью. Его полное (эквивалентное) сопротивление, являющееся чисто активным, определяется по формуле

$$Z_k = 1\,000\,000 \frac{L_k}{C_k R_k}, \quad (29)$$

Здесь и везде дальше L_k в микрогенри и C_k в микромикрофарадах, а Z_k и R_k — в омах.

Формула эта справедлива при условии настройки контура на частоту анодного тока и при сопротивлении потерь R_k , сосредоточенном в L_k . Это ограничение мы будем подразумевать и в дальнейшем.

Контур этого типа можно применять лишь при работе на одной волне, т. е. при

$$L_k = \text{const}$$

$$C_k = \text{const}$$

или в небольшом диапазоне волн. Для данной λ значения L_k и C_k , обеспечивающие настройку на λ и создающие нужную величину Z_k , можно найти по следующим формулам:

$$L_k = 0,00053 \lambda \sqrt{Z_k R_k}; \quad (30)$$

$$C_k = \frac{525 \lambda}{\sqrt{Z_k R_k}}. \quad (31)$$

Здесь Z_k берется из формулы (14); о вычислении R_k мы скажем ниже.

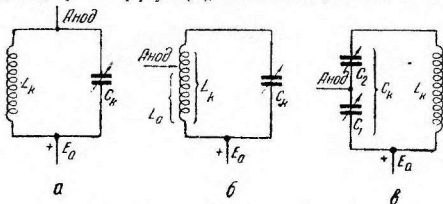


Рис. 13.6. Схемы включения анодного контура.

2) *Контур с индуктивной связью.* Он представлен на рис. 13. 6, б. Как видно, в анодную цепь контур этого типа включается частью катушки, которую мы обозначим L_a . Числа витков всей катушки L_k и L_a обозначим соответственно n_k и n_a . В этом случае контур для анодной цепи будет представлять нагрузку

$$Z_k = 1\,000\,000 \frac{n_a L_k}{n_k C_k R_k}. \quad (32)$$

Отсюда можно подсчитать число витков анодной связи

$$n_a = \frac{Z_k n_k C_k R_k}{1\,000\,000 L_k}. \quad (33)$$

Расчет ведем следующим образом. Для данной λ задаемся определенными параметрами контура L_k , C_k и R_k , т. е. по заданному C_k находим по формуле Томсона (стр. 269) величину L_k или, наоборот, задавшись определенной конструкцией (диаметром, длиной, числом витков) L_k находим ее индуктивность, а затем определяем C_k . Так или иначе величины L_k , C_k и n_k получаются известными. Все расчеты самой катушки L_k следует вести методами, указанными в главе «Индуктивность и катушки». Расчет R_k по данным L_k и по некоторым другим параметрам будет дан ниже. Значит R_k тоже будет известно.

Из расчета генератора Z_k определено формулой (14). Следовательно, мы можем вычислить n_a по формуле (33). Величина n_a может быть и больше n_k , и тогда катушку контура следует сделать с числом витков n_a , но для настройки использовать лишь n_k витков. Достоинство контура второго типа в том, что можно произвольно изменять n_a для подбора нужной величины Z_k , не нарушая настройки контура на данную длину волны. Кроме того, здесь можно менять в более широких пределах волну, так как получающееся при этом изменение Z_k можно скомпенсировать изменением n_a путем перестановки анодного щипка.

Точный расчет контура чрезвычайно труден, и поэтому обычно n_a для получения нужного значения Z_k подбирают опытным путем, а расчет служат лишь для ориентировочного определения данных контура.

3) Контур с емкостной связью (рис. 13. б, в). Применяется чаще всего в схеме Колпица. Из рис. 13. б, в видно, что здесь емкость контура разбита на две части, из которых одна (C_1) входит в анодную цепь, а другая (C_2) вместе с первой составляет общую емкость контура C_k

$$C_k = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (34)$$

и дает совместно с L_k настройку на нужную λ .

Для такого контура

$$Z_k = 1\,000\,000 \frac{C_k L_k}{C_1^2 R_k} \quad (35)$$

Расчет контура ведем, как и в предыдущем случае, т. е. выбираем значения L_k и C_k , дающие настройку на λ , оформляем конструктивные данные L_k и определяем R_k . Зная все эти величины и имея значение Z_k , находим C_1 по формуле

$$C_1 = 1000 \sqrt{\frac{C_k L_k}{Z_k R_k}} = \frac{525\lambda}{\sqrt{Z_k R_k}} \quad (36)$$

Вторую емкость C_2 узнаем по формуле

$$C_2 = \frac{C_1 C_k}{C_1 - C_k} \quad (37)$$

Этот контур менее удобен, чем предыдущий, но в нем все-таки можно выбрать наиболее удобные значения L_k и C_k , удовлетворяющие условиям настройки, а затем создать необходимое Z_k путем применения C_1 , вычисленного по формуле (36).

В контуре этого типа неудобно то, что при изменении Z_k путем изменения C_1 не остается постоянной λ . Однако, если C_1 и C_2 сделать переменными, то это изменение длины волны можно устранить и λ можно изменять, почти не влияя на Z_k .

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТУРА (R_k)

Рассмотрим теперь расчет R_k . Оно состоит из активного сопротивления R_L катушки контура и сопротивления R_{oe} , эквивалентного потерям энергии из контура на возбуждение следующего каскада или антенны; это сопротивление обычно называют в о с и м ы м сопротивлением. Таким образом

$$R_k = R_L + R_{oe} \quad (38)$$

Для контуров второго и третьего типов, когда конструкция и данные L_k получаются заранее, не трудно найти R_L методом, изложенным на стр. 220 в главе «Индуктивность и катушки». Так как в этом расчете не учитываются диэлектрические потери, потери на токи Фуко и т. п., то следует к вычисленному R_L сделать накидку в 25—100%. Чем короче λ и чем хуже конструкция контура в отношении потерь, тем больше нужно делать накидку. При плохих контурах эта накидка должна быть даже больше 100%. В случае же контура первого типа, когда L неизвестна, следует взять R_L некоторой ориентировочной величины, руководствуясь следующими соображениями. У разных контуров и для разных волн R_L меняется примерно от 1 до 5 ом. Для хороших контуров и для средних волн порядка 100 ÷ 300 м R_L меньше, а для плохих контуров и для волн длинных и коротких R_L больше. При очень плохих контурах или при у. к. в. R_L может быть и больше 5 ом и, наоборот, при очень хороших контурах R_L бывает равно лишь десятым долям ома. Взяв некоторое значение R_L , находим R_{oe} , исходя из понятия о к. п. д. контура

$$\eta_k = \frac{R_{oe}}{R_{oe} + R_L} = \frac{R_{oe}}{R_k} \quad (39)$$

У анодного контура последнего каскада (связанного с антенной) нужно взять $\eta_k \approx 0,6$, а для контуров промежуточных каскадов $\eta_k = 0,4$. Чем меньше взять η_k , тем меньше влияние следующего каскада на предыдущий. Это особенно важно для стабильности режима возбудителя, не имеющего стабилизации. Для его контура рекомендуется брать $\eta_k \approx 0,2$. Имея η_k , находим R_{oe} по формуле

$$R_{oe} = \frac{\eta_k \cdot R_L}{1 - \eta_k} \quad (40)$$

Далее находим R_k и переходим к расчету данных контура. В случае контуров второго и третьего типов это делаем по формулам (33) и (36), (37) и на этом расчет контура заканчиваем. А в случае контура первого типа, найдя L_k , делаем конструктивный расчет катушки, а затем по полученным конструктивным данным находим истинное R_L , делаем соответствующую накидку и сравниваем с ранее взятым ориентировочным значением R_L . При значительной разнице следует сделать перерасчет, взяв за R_L некоторое среднее значение между этими двумя величинами R_L .

В заключение нашего раздела о контурах заметим, что при расчетах емкости контура всегда следует учитывать различные паразитные емкости схемы и лампы. Их влияние особенно заметно на коротких волнах. В особенно неблагоприятных случаях эти емкости, добавляющиеся к емкости контура, имеют величины до 20—30 см, обычно они порядка 7—12 см. Отношение длины катушки к диаметру следует брать не более 1. Провод желательно иметь диаметром от 1,5—2 мм на более длинных волнах и до 6—8 мм на волнах 20—30 м. Трубку следует предпочесть сплошному проводу. Рекомендуется серебрить провод. Диэлектрика должно быть минимальное количество и экраны необходимо не слишком приближать к катушкам.

РАСЧЕТ МОЩНОСТЕЙ КАСКАДОВ ПЕРЕДАТЧИКА И СВЯЗЕЙ МЕЖДУ НИМИ

Так как обычно при расчете передатчика задаются определенной мощностью в антенне, то приходится вести весь расчет, начиная с антенны, затем

переходить к последнему мощному каскаду, далее к предыдущему каскаду, затем к следующему и т. д., кончая возбудителем.

Имея величину подводимой к антенне мощности P_A (ее расчет приведен в следующем разделе об антеннах), находим колебательную мощность последнего каскада P_k по к. п. д. его контура $\eta_k \approx 0,6$

$$P = \frac{P_A^1}{\eta_k}. \quad (41)$$

По величине P_k производим полный расчет каскада и деталей его схемы (контур, детали параллельного питания и т. д.). Для окончательного расчета этого каскада нужно только сделать небольшой подсчет связи его с антенной. Для этого воспользуемся формулой для коэффициента взаимной индукции M между антенной и контуром последнего каскада:

$$M = 0,00053\lambda\sqrt{R_{oe}R_A}, \quad (42)$$

где M выражено в микромикрофарадах, а R_A — сопротивление потерь антенного устройства, расчет которого дан в главе XIV об антеннах; R_{oe} известно из формулы (40). Зная M , легко вычислить индуктивность антенной катушки по формуле

$$L_A = \frac{M^2}{k^2 L_k}, \quad (43)$$

где k — коэффициент связи контура каскада с антенной, который можно взять равным 0,2.

В случае непосредственной связи с антенной число витков n_A части катушки, на которое включается антенна, может быть вычислено по формуле

$$n_A = n_a \frac{E_{m_0}}{E_{ma_1}}, \quad (44)$$

где E_{m_0} — амплитуда напряжения в начале фидера антенны, которую можно узнать из формулы

$$E_{m_0} = 1,41 \frac{P_A}{I_f} = \sqrt{2P_A \rho_f}, \quad (45)$$

где I_f — эффективная сила тока бегущей волны в начале фидера, а ρ_f — волновое сопротивление фидера (см. главу XIV).

При индуктивной связи конструктивный расчет L_A производится обычными методами, как и L_k .

Рассмотрим теперь расчет мощности предварительных каскадов и их связи с последующим каскадом. Из расчета каждого «последующего» каскада должна быть известна мощность потерь в цепи сетки P_g . Тогда колебательная мощность, которую должен развить предыдущий каскад P_k , будет

$$P_k = \frac{P_g}{\eta_k}, \quad (46)$$

¹ Можно, конечно, задать P_k последнего каскада, и тогда P_A в антенне будет равно $\eta_k \cdot P_k$.

где η_k — к. п. д. контура предварительного каскада, равный примерно 0,4 для связи каскадов между собой. На эту P_k и рассчитывается предварительный каскад. Для расчета данных его контура нужно знать R_k . Величину R_k вычисляем совершенно аналогично случаю оконечного каскада, рассмотренного выше. Задаемся определенной величиной R_L или вычисляем R_L , если конструкция и индуктивность катушки L_k могут быть взяты из условий резонанса и по соображениям удобства (контуров второго и третьего типов). Зная R_L и η_k , находим по формуле (40) R_{oe} и далее R_k по формуле (38). Теперь уже можно произвести расчет контура обычным путем. Если связь между каскадами непосредственная (конечно, с разделительными конденсаторами достаточно большой емкости, не вызывающими падения напряжения), то число витков n_g части катушки L_k , от которого должно браться напряжение возбуждения, определяется по формуле

$$n_g = n_a \frac{E_{mg}}{E_{ma1}}, \quad (47)$$

где E_{mg} — напряжение возбуждения последующего каскада (при двухтактной схеме, не забывая удвоить E_{mg} одной лампы), а E_{ma1} — амплитуда напряжения предыдущего каскада.

При индуктивной связи между каскадами поступаем иначе. После нахождения R_k и расчета контура предварительного каскада определяем сопротивление R_{goe} , эквивалентное потерям в цепи сетки последующего каскада

$$R_{goe} = \frac{E_{mg}^2}{2P_g}. \quad (48)$$

Далее определяем коэффициент взаимной индукции между каскадами

$$M = 0,00053 \lambda \sqrt{R_{goe} R_{oe}} \quad (49)$$

и, наконец, находим индуктивность сеточной катушки возбуждаемого каскада L_g по формуле

$$L_g = \frac{M^2}{k^2 L_k}, \quad (50)$$

причем и здесь коэффициент связи $k \approx 0,2$.

Нужно отметить, что приведенный расчет не учитывает падения напряжения возбуждения на L_g . Для того чтобы E_{mg} не получилось меньше, чем нужно, следует несколько увеличить n_g или L_g , примерно, на 5 — 10%.

Подобный расчет делают для всех каскадов, пока не доходят до задающего генератора. Мощность P_k находим по формуле (46), считая $\eta_k = 0,2$. Расчет контура возбудителя ведем почти так же, как и у промежуточных каскадов. Берем некоторое значение R_L или вычисляем его, если у нас контур второго или третьего типа. По формуле (40) находим R_{oe} , причем η_k берем 0,3, так как для связи возбудителя со следующим каскадом $\eta_k = 0,2$, а для связи контура возбудителя с его же цепью сетки $\eta_k \approx 0,1$ (так как мощность на самовозбуждение равна примерно 10% от P_k). Имея величину R_k (как сумму R_L и R_{oe}), рассчитываем контур обычным путем. Нужно при этом иметь в виду, что контур первого типа бывает лишь у генераторов Мейсснера и Хут-Кюна. У генератора по схеме Гартлея контур второго типа, а у Колпица — третьего типа. При непосредственной обратной связи (Гартлей) число витков сеточной части катушки контура рассчитывается по формуле (47),

причем величины E_{mg} и E_{ma1} относятся уже к одному возбудителю. Для емкостной обратной связи (Колпиц) величины емкостей анодного и сеточного конденсаторов (C_a и C_g), составляющих вместе общую емкость контура, определяются формулой

$$C_g = \frac{E_{ma1}}{E_{mg}} C_a, \quad (51)$$

где E_{ma1} и E_{mg} относятся к самому возбудителю. Наконец, при индуктивной обратной связи определяем R_{goc} для цепи сетки возбудителя по формуле (48), положив в ней $P_g = 0,1 P_k$, и находим M обратной связи по формуле (49), считая здесь не полное R_{oc} , вычисленное выше, а лишь $0,33 R_{oc}$. Зная M из формулы (50), определяем индуктивность сеточной катушки L_g , принимая $k = 0,1$. Расчет сеточной катушки обычен. На этом расчет самовозбуждения можно закончить, но на всякий случай следует проверить, выполнено ли условие самовозбуждения, выражаемое следующей формулой

$$D \left(1 + \frac{\alpha_i R_i}{Z_k} \right) \leq \frac{E_{mg}}{E_{ma1}}, \quad (52)$$

Здесь α_i —коэффициент, учитывающий изменение R_i в зависимости от угла отсечки θ . Он находится из табл. 13. 3.

Если это неравенство не соблюдено, то нужно увеличить обратную связь, чтобы выполнить данное условие.

Связь возбудителя со следующим каскадом рассчитывается совершенно так же, как и междукаскадная связь, причем здесь за R_{oc} берется $0,67$ вычисленного полного значения, так как $0,33 R_{oc}$ вносится обратной связью.

Таблица 13. 3

θ°	180	120	90	80	70	60	55	50
α_i	1	1,5	2	2,5	3,5	5	6,2	8,6

РАСЧЕТ ПЕРЕДАТЧИКА С ЭКРАНИРОВАННЫМИ ЛАМПАМИ

Расчет каскада на экранированной лампе имеет некоторые существенные особенности.

В основе расчета генераторного каскада на триоде лежит условие получения нормального, не перенапряженного режима, выражаемое формулой

$$E_a - E_{ma1} = E_g + E_{mg}.$$

Для экранированной лампы это определение нормального режима не годится. Наличие экранирующей сетки и возможность возникновения динаotronного эффекта заставляют нормальным режимом считать такой, когда минимальное напряжение на аноде $e_{a \min} = E_a - E_{ma1}$ больше напряжения экранной сетки $E(g)$ на 20—40%, что гарантирует от возникновения динаotronного эффекта. Благодаря этому расчет каскада ведется следующим образом. Подбор лампы для необходимой P_k по эмиссии и по рассеянию

на аноде делаем по формулам (1) и (2). Амплитуду переменного анодного напряжения находим по формуле

$$E_{ma1} = E_a - 1,3 E_{(g)}. \quad (53)$$

Далее находим I_{ma1} по формуле (6).

Задаемся углом отсечки θ порядка $70 - 90^\circ$ и из табл. 13.1 находим α_1 и α_2 .

Затем определяем максимальный импульс анодного тока

$$I_{a \max} = \frac{I_{ma1}}{\alpha_1}. \quad (54)$$

По формулам (8), (9), (10) и (11) находим I_a , P , P_a , η .

Конечно, при расчете следует сделать проверку условий: $I_{a \max} < I_s$ и $P_a < P_{a \max}$.

Амплитуда сеточного напряжения и смещение определяются формулами:

$$E_{mg} = \frac{I_{a \max}}{S(1 - \cos \theta)}; \quad (55)$$

$$E_g = E_{g0} - E_{mg} \cos \theta. \quad (56)$$

Наконец, определяем сопротивление контура по формуле (14).

Расчет удвоителя на экранированной лампе делаем аналогично, пользуясь указаниями, приведенными в разделе о расчете удвоителя, причем угол отсечки θ берем порядка $50 - 60^\circ$.

В последнее время с успехом стали применять в передатчиках генераторные пентоды. Расчет передатчика на пентодах производится так же, как и для тетродов, причем ввиду наличия антидинаatronной сетки $e_{a \min}$ может быть значительно меньше $E_{(g)}$. Благодаря этому коэффициент использования анодного напряжения для пентода может быть равен $0,9 - 0,95$, в то время как для тетрода он не более $0,7 - 0,75$. В результате P_k и η получаются больше, чем у тетрода.

Особенно хорошие результаты дают пентоды в генераторах при несколько положительном напряжении на антидинаatronной сетке, но и при напряжении на этой сетке, равном нулю, пентод дает значительно лучшие результаты, чем тетрод. Основные достоинства тетрода: возможность работы без нейтрализации вследствие очень малой емкости анод-сетка, и малые потери в цепи сетки остаются полностью и у пентодов.

ТАБЛИЦЫ ДАННЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

В табл. 13.4 приведены основные данные генераторных триодов. Экранированные генераторные лампы приведены в табл. 13.5, а пентоды для генераторов в табл. 13.6.

В новых названиях ламп (по ОСТ) буква Д означает лампу для длинных и средних волн ($\lambda > 200$ м), буква К относится к лампам для промежуточных и коротких волн ($\lambda > 15$ м), буква У принята для ламп на у. к. в. ($\lambda > 3,5$ м). Буква О означает водяное охлаждение. Буква Э показывает, что лампа экранированная.

Данные, приведенные в таблицах, к сожалению, не точны, так как каталоги на генераторные лампы до сих пор еще не выпущены.

Генераторные триоды

$\frac{E}{U}$ $\frac{E}{U}$	Новое название (по ОСТ)	Старое название	U_f в	I_f а	I_s а	S $\frac{мг}{с}$	D	R_f ом	E_a в	E_{g0} в	$P_{a\max}$ вт	P_k вт
1	ГУ-4	ГКВ-4	7	1,8	0,1	1,4	0,08	6 600	700	-45	0,035	0,015
2	ГК-20	ГК-36	5,6	0,85	0,2	1,75	0,019	30 000	750	-6	0,02	0,025
3	ГД-50	Г-46; Г _г -10	11	4,1	0,25	2	0,018	30 000	1 500	+5,4	0,08	0,05
4	ГД-100	Г-47; Б _г -250	11	3,8	0,2	1,45	0,014	50 000	3 000	-21	0,150	0,120
5	ГД-200	Г-49; Б _г -250	11	6,3	0,4	2,35	0,012	36 000	3 000	0	0,150	0,250
6	ГД-400	Г-54; Б _г -500	17	8,5	0,85	3,5	0,01	27 000	3 000—4 000	(+12,7)÷(+2,1)	0,5	0,5
7	ГД-1000	Г-29; Г-100	16	10,3	1	3,2	0,004	78 000	10 000	+40	0,4	1
8	ГК-3000	Г-58; Г _г -300	17	18	2,3	5	0,005	40 000	10 000	0	1	3
9	ГУО-5	Г-120	16,5	52	11	—	0,07	—	4 000	-100	5	5
10	ГДО-15	Г-61; Г _г -2000	16,5	52	8	7,5	0,023	5 450	10 000	+70	10	11—15
11	ГКО-10	Г-92; Г _г -2000	16,5	52	8	7,5	0,023	5 450	8 000	-25	10	10
12	ГДО-30	Г-64; Г-5000	23	72	15	10	0,022	4 545	8 000—10 000	0÷(-44)	20	30
13	ГУ-150	—	11	10,8	0,7	2,2	0,057	8 000	2 500	-120	0,25	0,15

Генераторные экранированные лампы (тетроды)

№ п/п	Новое название (по ОСТ)	Старое название	U_f в	I_f а	I_s а	P_a max вт	E_a в	$E(g)$ в	E_{gr} при указанн. $E(g)$ в	P_k вт	S $\left(\frac{mA}{в}\right)$	R_f ом
1	ГКЭ-150	С-106	11	6,3	0,42	100	3000	500	— 70	200	1,8	200 000
2	ГКЭ-300	С-109	17	10,3	0,75	400	3000	500	— 130	300	4	100 000
3	ГКЭ-1000	С-103	17	18	1,7	750	4000	500	— 145	1000	2,2	150 000
4	ГКЭ-500	С-166	17	18	~2	750	3000—4000	500	—	—	3,5	—
5	—	СО-200	—	1	0,3	12	500	150	— 25	—	1,8	—
6	—	СК-164	4	1,7	0,25	20	750	150	—	25	2,5	120 000
7	—	СК-137	11	1,8	0,35	80	1500	250	—	100	2,3	130 000
8	—	СК-158 (экраниро- ван. ГК-36)	5,6	0,85	0,17	20	750	150	—	15	1,75	230 000

Генераторные пентод

(Выписка из ОСТ)

№ п/п.	Название	P_k вт	$P_a \max$ вт	U_f в	I_f а	E_a в	D	S $\frac{ma}{a}$	Тип катода
1	Г-402	20	20	5	1,2	400	0,067	5	Оксид. по- догревный То же
2	Г-403	20	20	5	0,9	750	0,067	4	
3	Г-404	40	40	5	2,5	750	0,067	5	»
4	Г-406	20	20	10	0,6	400	0,067	5	»
5	Г-407	20	20	10	0,45	750	0,067	4	»
6	Г-408	40	40	10	1,25	750	0,067	5	»
7	Г-409	100—150	120	10	2,5	1500	0,1	6	»
8	Г-411	20	20	20	0,3	400	0,067	5	»
9	Г-412	20	20	20	0,225	750	0,067	4	»
10	Г-413	40—45	40	20	0,5	750	0,067	5	»
11	Г-414	100—150	100	20	1,25	1500	0,1	6	»
12	Г-418	20	20	5	1,25	400	0,067	4	Торирован- ный воль- фрамовый
13	Г-425	1000	750	20	20	4000	0,1	4	Вольфра- мовый

Примечание. Данные ориентировочные, так как многие пентоды еще не производятся.

КОРОТКОВОЛНОВЫЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ АНТЕННЫ

В этом отделе мы даем краткий расчет простейших коротковолновых передающих антенн и указания по их практическому устройству.

Каждая передающая антенна состоит из излучающей части, которой в большинстве случаев является так называемый вибратор или диполь Герца, и фидера, подводящего энергию от передатчика к вибратору и представляющего проволочную линию той или иной системы. Разберем эти два основных элемента антенн в отдельности.

ВИБРАТОРЫ

Вибратором в расширенном смысле этого слова является всякий прямой провод, расположенный вертикально, горизонтально или наклонно по отношению к плоскости земли и имеющий определенную заранее рассчитанную длину, зависящую от рабочей волны (или волн).

Колебания в вибраторе могут происходить как на основной частоте, так и на гармониках. Эти колебания создают в вибраторе стоячие волны тока и напряжения. Пренебрегая при расчете потерями энергии считают, что пучности тока и напряжения сдвинуты друг относительно друга на $\frac{1}{4}\lambda$ (рис. 14. 1).

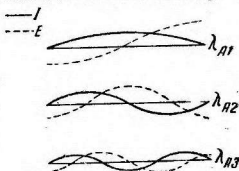


Рис. 14. 1. Распределение стоячих волн в простейшем вибраторе.

Основные величины, фигурирующие в расчете вибратора, будут следующие:

λ_{A1} — собственная длина волны вибратора в метрах (1-я гармоника);

λ_{A2} — длина волны 2-й гармоники;

λ_{A3} — длина волны 3-й гармоники;

λ_{An} — длина волны n -й гармоники;

λ — длина волны в метрах;

ρ — волновое сопротивление вибратора в омах;

l — длина провода вибратора в метрах (считается между загибами провода в изоляторах на противоположных концах);

d — диаметр провода в миллиметрах;

I_A — эффективная сила тока в пучности тока вибратора в амперах;

R_z — сопротивление излучения в пучности тока вибратора в омах.

Под этой последней величиной понимают некоторое активное сопротивление; эквивалентное в смысле потерь энергии потерям на излучение электромагнитных волн. Зная I_A и R_Σ , легко подсчитать мощность излучения P_Σ .

$$P_\Sigma = I_A^2 \cdot R_\Sigma. \quad (1)$$

Вычисление R_Σ для различных случаев мы даем несколько ниже, а сейчас рассмотрим формулы для вычисления собственной волны и гармоник вибратора.

Если скорость волны вдоль провода вибратора считать равной скорости волны в мировом эфире, то существуют следующие соотношения между длиной волны гармоник и длиной вибратора:

$$\lambda_{A_1} = 2l; \quad \lambda_{A_2} = l; \quad \lambda_{A_3} = \frac{2}{3} l; \quad \dots; \lambda_{A_n} = \frac{2}{n} l. \quad (2)$$

Однако в реальных случаях, когда вблизи вибратора всегда имеются другие предметы, эти формулы дают ошибку в зависимости от изменения скорости волны на проводе. Большей частью скорость волны на проводе меньше, чем в мировом эфире. Поэтому измеренные основные волны и гармоники длиннее, чем рассчитанные по формуле.

Практически пользуются следующими формулами, которые даны для l , так как обычно приходится по заданной λ находить l :

$$l = \alpha \lambda_{A_1}; \quad l = 2\alpha \lambda_{A_2}; \quad l = 3\alpha \lambda_{A_3}; \quad \dots; \quad l = n\alpha \lambda_{A_n}, \quad (3)$$

где α — коэффициент, равный 0,47 при близости вибратора к земле или другим проводникам и равный 0,48 при сравнительной удаленности вибратора от местных предметов. Коэффициент α соответствует уменьшению скорости волны на проводе от 6 до 4%, однако, само собой понятно, что такого рода расчет является ориентировочным, так как весьма сильно также влияние изоляции по концам антенны на величину собственной длины волны. Это влияние часто более значительно, чем изменение скорости волны.

Для вычисления R_Σ существуют следующие формулы. При возбуждении на гармониках одного вибратора

$$R_\Sigma \approx 69 (\lg n + 1,05), \quad (4)$$

где n — номер гармоники.

Готовые значения R_Σ даны в табл. 14. 1. Формула (4) и табл. 14. 1 годятся для определения R_Σ как одного целого вибратора (удаленного от влияния земли), работающего на основной волне (полуволновой вибратор) или на гармониках, так и для нескольких попеременнофазных вибраторов, расположенных по одной прямой линии друг за другом. Однако на практике иногда применяют синфазные, т. е. колеблющиеся в фазе вибраторы. Расчет R_Σ в этом случае, вообще говоря, довольно сложен и применяется, главным образом, в проектировании сложных направленных антенн, которые мы не рассматриваем. Но и в некоторых простейших антеннах иногда применяют два синфазных вибратора, работающих на основной волне или на гармониках или даже на волнах промежуточных между основной и гармониками (рис. 14.2).

Для этого случая R_z вычисляется по табл. 14. 2, в которой дана зависимость R_z от некоторого коэффициента σ_0 , который вычисляется по формуле

$$\sigma_0 = 6,28 \frac{l}{\lambda}, \quad (5)$$

где l — длина одного вибратора.

В заключение рассмотрим расчет волнового сопротивления вибраторов. Напомним, что волновым сопротивлением называется отношение амплитудных или эффективных значений напряжения и тока бегущей волны. Для высокочастотных систем можно, пренебрегая сопротивлением потерь в проводе и утечкой в плохой изоляции, определить волновое сопротивление ρ через индуктивность и емкость единицы длины провода (L_1 и C_1). Выразив L_1 и C_1 в микрогенри и микромикрофарадах на сантиметр длины провода, будем иметь

$$\rho = \frac{E_{\text{бег}}}{I_{\text{бег}}} = 1000 \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \quad (6)$$

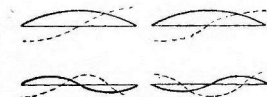


Рис. 14. 2. Принцип работы двух синфазных вибраторов.

Практически для определения ρ , имеющего большое значение в расчете антенн, пользуются следующей формулой, если длина антенны l мала в сравнении с рабочей волной

$$\rho = 138 \left[\lg \frac{2l}{d} - 0,435 \right], \quad (7)$$

где d — диаметр провода и l — длина антенны имеют одинаковую размерность.

Практически формулой (7) пользуются при любых отношениях волны и длины провода меньших единицы.

В случае симметричного питания вибратора с помощью двухпроводного фидера иногда в расчет волновое сопротивление свернутого вибратора, равное

$$\rho = 276 \left[\lg \frac{2l}{d} - 0,435 \right]. \quad (8)$$

Как видно, в этом случае ρ вдвое больше, чем в предыдущем случае. Для коротковолнового диапазона (10—200 м) вибраторы с симметричным питанием обычно имеют в среднем $\rho \approx 1000$ ом, а вибраторы с питанием в одной точке $\rho \approx 500$ ом.

ОСНОВНОЙ РАСЧЕТ ФИДЕРА С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

Важнейшей величиной, характеризующей фидер, является волновое сопротивление ρ , играющее в распространении электрических волн по проводам такую же роль, какую играет полное сопротивление Z в цепях переменного тока [см. формулу (6)].

Для применяемых в практике фидерных систем ρ может быть определено по следующим формулам.

В случае двухпроводного фидера (рис. 14. 3, а)

$$\rho = 276 \lg \frac{D}{d}. \quad (9)$$

Для трубчатого (коаксиального) фидера (рис. 14. 3, б)

$$\rho = 138 \lg \frac{D}{d}. \quad (10)$$

В этих формулах D и d выражаются в одинаковых единицах. Величина ρ для некоторых типов фидеров дана в табл. 14. 3.

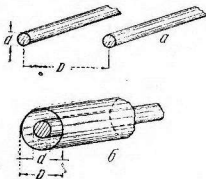


Рис. 14. 3. Принципиальные устройства двухпроводного и коаксиального фидеров.

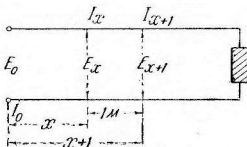


Рис. 14. 4. Расчетная схема фидера.

Волновое сопротивление однопроводного фидера для коротких волн, пренебрегая близостью земли, можно подсчитать приближенно по формуле

$$\rho = 138 \lg \frac{2l}{d}. \quad (11)$$

где d и l выражены в одинаковых единицах.

Следующей важной величиной для фидера является затухание β , определяемое как натуральный логарифм отношения напряжений или токов на концах участка фидера длиной 1 м (рис. 14. 4).

$$\beta = \ln \frac{E_x}{E_{x+1}} = \ln \frac{I_x}{I_{x+1}}. \quad (12)$$

Это определение вытекает из экспоненциального закона спада напряжения и тока вдоль фидера, происходящего вследствие потерь энергии

$$E_x = E_0 \cdot e^{-\beta x},$$

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\beta x}.$$

Здесь E_0 и I_0 — напряжение и ток в начале фидера, e — основание натуральных логарифмов, E_x и I_x — напряжение и ток на расстоянии x метров от начала фидера, E_{x+1} и I_{x+1} — напряжение и ток на $(x+1)$ метров от начала. Таким образом затухание β характеризует относительное уменьшение E и I на протяжении 1 м фидера.

Определение β можно сделать либо по формулам, либо из табл. 14. 3, в которой даны экспериментально определенные значения β при $\lambda = 15$ м для нескольких употребительных типов фидеров. Для какой-либо другой волны λ_1 нужно умножить табличное значение β на отношение $\frac{3,87}{\sqrt{\lambda_1}}$.

Считая основной причиной затухания омические потери в проводах (с учетом скин-эффекта), для двухпроводного фидера можно дать следующую приближенную формулу для вычисления β

$$\beta = \frac{0,72}{\rho d \sqrt{\lambda}}, \quad (13)$$

где d — диаметр провода в миллиметрах;

λ — волна в метрах;

ρ — волновое сопротивление в омах.

Следует отметить, что эта формула и таблица дают преуменьшенные результаты, так как они не учитывают утечек в изоляторах и других потерь. Поэтому следует вычисленные значения β увеличивать на 20—50%. Чем короче волна и чем больше потери, обусловленные конструктивными особенностями фидера, тем больше нужно делать эту накидку.

Вычислив β по формуле или определив по таблице, если интересующий нас фидер подходит к указанным в ней типам, переходим к энергетическому расчету фидера. При этом расчете заданными величинами являются: P_0 — подводимая к фидеру мощность, l — длина фидера в метрах; известны обычно также конструктивные данные, служащие для определения β и ρ по приведенным выше формулам.

Требуется определить η_f — к.п.д. фидера, потери в фидере P_f полезную мощность, отдаваемую фидером вибратору P_A , и эффективное значение силы тока в фидере I_f . Последнее остается почти постоянным по всей длине фидера, и поэтому мы будем вычислять I_f для начала фидера. Иногда задают не P_0 , а P_A , и тогда, наоборот, требуется узнать P_0 .

Если величина βl значительно меньше 1, то можно приближенно заменить:

$$e^{-\beta l} \approx 1 - \beta l.$$

Тогда для перечисленных параметров фидера будем иметь следующие соотношения

$$\eta_f = 1 - 2\beta l^2, \quad (14)$$

$$P_A = P_0 \cdot \eta_f. \quad (15)$$

Потери в фидере $P_f = P_0 - P_A$.

Ток в начале фидера

$$I_f = \sqrt{\frac{P_0}{\rho}}. \quad (16)$$

При питании фидеров бегущей волной потери их незначительны и к.п.д. высоки. При обычной длине фидера в несколько десятков метров к.п.д. достигает 90—95%, а при длине в сотни метров — от 60 до 90%. В этом большое достоинство этой системы фидеров. Другое их преимущество — произвольность длины l , которая влияет лишь на потери, но совершенно не влияет на волну и настройку антенны.

Однако оба эти главных достоинства фидеров бегущей волны получаются только при условии полного отсутствия стоячих волн в фидере, что достигается включением фидера на нагрузку (вибратор), имеющую сопротивление Z_A , равное волновому сопротивлению фидера ρ_f .

¹ Если значение $2\beta l$ достигает 0,1 и больше, то нужно высчитывать η_f по формуле: $\eta_f = e^{-2\beta l}$. Значение $e^{-2\beta l}$ находим из таблицы в конце книги.

Осуществление этого условия рассмотрено ниже. Кроме того, следует выполнить фидер конструктивно так, чтобы в нем самом не возникло отражение. Для этого нужно вести фидер по возможности прямолинейно, не делать крутых поворотов, а если где-либо необходимо изменить направление проводов фидеров, то следует это изменение делать на угол не больше 18° от прежнего направления.

При двухпроводных фидерах нужно обратить особенное внимание на параллельность и симметричность обоих проводов фидера, а также на хорошую изоляцию их друг от друга и от земли. Последнее, впрочем, относится ко всем системам фидеров. Провод следует брать сплошной (не канатик), по возможности ровный и без спаек. Расстояние между проводами фидера следует брать от 100 до 250 мм. Изолирующие распорки нужно ставить не чаще чем через 1—1,5 м; но и не реже 3 м.

ФИДЕРЫ СО СТОЯЧЕЙ ВОЛНОЙ

При питании антенн стоячей волной вдоль фидеров последние необходимо выполнять двухпроводными. Стоячие волны в каждом проводе противоположны по фазе и поэтому излучение энергии у них почти взаимно уничтожается. Наличие стоячей волны вызывает увеличение потерь в фидере и уничтожает независимость длины фидера l от длины волны λ . Отсюда следует, что фидеры со стоячей волной в отношении к. п. д. и своей конструкции хуже фидеров без стоячей волны. Последние не требуют никаких предварительных расчетов, могут иметь любую произвольную длину, пригодную одинаково для разных волн, а фидеры со стоячими волнами должны иметь определенную l , зависящую от λ . Расчет длины фидера со стоячей волной на заданную λ производится по следующим соображениям. На конце фидера, соединяющемся с вибратором, может быть: 1) пучность тока, 2) пучность напряжения. В начале фидера около перелатчика всегда должна быть пучность тока (вернее, она получается в середине антенной катушки, но ток около концов этой катушки мало отличается от тока в пучности).

Отсюда следует, что в случае пучности тока на конце фидера по длине фидера должно разместиться четное число $\frac{\lambda}{4}$ или, иначе говоря, целое число полуволн, а в случае пучности напряжения — нечетное число четвертой волны.

Так как по формуле (3) длина провода, на котором размещается одна полуволна (случай первой гармоники), равна a^2 , где в среднем $a = 0,475$, то для расчета длины l фидера стоячей волны можно пользоваться следующими формулами:

- 1) для случая, когда на конце фидера пучность тока

$$l = ka\lambda; \quad (17)$$

- 2) для случая, когда на конце фидера пучность напряжения

$$l = (k + 0,5)a\lambda. \quad (18)$$

Здесь k — любое целое число, включая и нуль.

Конечно, на практике стараются делать фидер минимальной длины. Следует заметить, что коэффициент a можно брать 0,475 лишь при сравнительной удаленности фидера от других предметов и при его прямолинейности. Однако, если фидер близок к разным проводникам и имеет изгибы, то он находится в худшем положении, чем вибратор. Кроме того, в длину фидера фактически входит половина антенной катушки. Поэтому для расчета фидера в таких случаях следует a брать меньше, чем для вибратора, примерно,

0,45 в очень неблагоприятных случаях и от 0,46 до 0,47 при меньшем влиянии местных условий на скорость волны по фидеру.

Переходим к энергетическому расчету фидера стоячей волны. Теория показывает, что приближенно, считая фидер включенным на вибратор, имеющий чисто активное полное сопротивление Z_A , к. п. д. выражается следующей формулой

$$\eta_f = 1 - \left(\frac{p_f}{Z_A} + \frac{Z_A}{p_f} \right) \cdot \beta I. \quad (19)$$

Из нее ясно, что максимальный η_f получается при $p_f = Z_A$, т. е. при режиме бегущей волны и полном отсутствии стоячих волн. Чем больше разница между p_f и Z_A (причем не важно, что из них больше), тем меньше к. п. д. Для расчета к. п. д. поступаем следующим образом. Находим p_f по формулам (9) или (10), которые справедливы для любых линий. Затем находим β по формуле (13) или по табл. 11. 3 и делаем указанную в объяснении этой формулы накидку в 20—50%. Величина I определена уже из формулы (17) или (18) или задана конструктивными особенностями антенны. Для вычисления η_f остается только определить Z_A .

При пучности тока на конце фидера $Z_A = R_A$, где R_A — сопротивление потерь вибратора, равное R_Σ плюс некоторое сопротивление, эквивалентное потерям на омическом сопротивлении провода вибратора (конечно, с учетом скин-эффекта), на утечках через изоляторы и т. д. Так как учесть все эти потери очень затруднительно, то за R_A можно принять R_Σ плюс 30—50% величины R_Σ , т. е. R_A равно от 1,3 R_Σ до 1,5 R_Σ . Чем больше l и чем меньше d и λ , а также чем хуже изоляция, тем больше следует делать накидку к R_Σ для получения R_A . Для полуволнового вибратора можно считать $R_A \approx 100 \text{ ом}$.

При пучности напряжения на конце фидера Z_A находится по формуле

$$Z_A = \frac{p_A^2}{R_A}, \quad (20)$$

где p_A — волновое сопротивление вибратора, определяемое по формулам (7) и (8), а R_A определяется приближенно, как только что было указано. Зная Z_A , мы вычисляем по формуле (19) к. п. д. фидера η_f . Затем по формуле (15) находим P_A , если задана P_0 , или наоборот. Ток в начале фидера складывается из тока бегущей волны, который может быть определен по формуле (16), и тока в пучности стоячей волны, который равен току в пучности самого вибратора I_A и может быть найден из формулы

$$I_A = \sqrt{\frac{P_A}{R_A}}. \quad (21)$$

Нами приведен предварительный расчет фидера и вибратора по заданной мощности. Но часто приходится делать обратную задачу: зная p_f , p_A , β , l , R_Σ и R_A (вернее, подсчитав их для уже имеющегося антенного устройства) и измерив ток I в фидере, нужно найти мощность. В этом случае поступаем так. Находим η_f , затем, если у нас фидер с одной бегущей волной, то $I = I_f$ и тогда P_0 равна по формуле (16)

$$P_0 = I^2 \cdot p_f. \quad (16)$$

Затем по формуле (15) находим P_A и по формуле (21) I_A ; наконец, мощность излучения P_Σ узнаем по формуле (1).

Если же фидер со стоячей волной, то $I = I_A + I_f$.

В этом случае находим Z_A , как было указано выше, и η_f . Далее определяем P_0 по следующей формуле, которая получается из формул (16) и (21)

$$P_0 = \frac{I^2}{\left(\frac{1}{\rho_f} + 2 \sqrt{\frac{\eta_f}{\rho_f R_A}} + \frac{\eta_f}{R_A} \right)} \quad (22)$$

А далее узнаем P_A , I_A и P_Σ по формулам (15), (21) и (1). Весь приведенный расчет носит приближенный характер, как и почти все расчеты, касающиеся антенн. Он справедлив лишь для случая точной настройки в резонанс вибратора и фидера стоячей волны. При этом условии он дает наиболее точные результаты. Расстройка от резонанса сильно усложняет расчет и делает его еще менее точным. Рассматривать этот случай мы не будем.

В отношении конструкции фидеров стоячей волны можно повторить все, что было сказано о двухпроводных фидерах бегущей волны, и обратить особое внимание на хорошую натяжку проводов для поддержания неизменности расстояния между фидерами D , сильно влияющего на настройку фидера.

АНТЕННА «ГЕРЦ» С ДВУХПРОВОДНЫМ ФИДЕРОМ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ (рис. 14. 5, а)

(«Дублет Герц антенна» или, просто, «дублет»)

Здесь двухпроводный фидер на конце имеет расходящиеся провода, включенные на участок вибратора такой величины, что он представляет

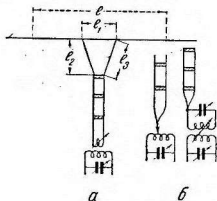


Рис. 14. 5. Типы антенн с двухпроводным фидером.

расхождения фидера до вибратора l_2 равно 0,15 λ_{A1} для всех волн. Для получения фидера с $\rho_f = 600$ ом следует придерживаться следующего соотношения между шириной фидера D и диаметром провода $d = 75 d$, где D и d в одинаковых единицах.

для фидера нагрузку, сопротивление которой равно волновому сопротивлению конца фидера. Этим достигается устранение отражения и получение режима чистой бегущей волны. Расчетные данные для любых случаев конструкции такой антенны, к сожалению, отсутствуют. В США для фидера, имеющего $\rho_f = 600$ ом, даются следующие экспериментально найденные данные при работе на основной волне. Длина вибратора l находится по первой формуле (3), причем следует брать $\alpha = 0,47$ при $\lambda_{A1} < 10$ м, $\alpha = 0,475$ при $10 \text{ м} < \lambda_{A1} < 100$ м и $\alpha = 0,48$ при $\lambda_{A1} > 100$ м. Длина участка вибратора $l_1 = \beta \lambda_{A1}$, где β для указанных трех случаев различных значений λ_{A1} соответственно равен 0,115; 0,12 и 0,125. Наконец, расстояние от места

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$R_{\Sigma} (ом)$	73,3	93,3	105,4	114,1	120,4	126,5	130,9	134,8	138,4	141,9	144,4	147,0	149,8	151,6	153,7	155,7

Таблица 14.2

σ_0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$R_{\Sigma} (ом)$	5	17	60	130	200	213	160	100	90	150

Длину проводов расходящейся части фидера l_3 легко найти из геометрических соображений

$$l_3 = 0,5 \sqrt{(l_1 - D)^2 + 4l_2^2}$$

Антенна «дублет» особенно подходит для двухтактных передатчиков благодаря своей симметричности. Поэтому и связь ее фидера с контуром передатчика нужно делать по возможности более симметричной. Лучше брать индуктивную связь. «Дублет» может работать без всяких переделок на нечетных гармониках. Для работы на четных гармониках приходится подавать по обоим проводам фидера бегущие волны, совпадающие по фазе, а не противоположные, как обычно. Тогда начальные концы проводов фидера нужно включать вместе непосредственно или через конденсатор на катушку контура (непосредственная или емкостная связь) передатчика или к концу промежуточного контура (рис. 14. 5, б). Однако на более высоких гармониках и особенно на 4-й, 8-й, 16-й и т. д. антенна работает хуже. Конструктивно фидер выполняется так, как было указано выше.

АНТЕННА «ГЕРЦ» С ОДНОПРОВОДНЫМ ФИДЕРОМ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Эта антенна (рис. 14. 6, а) удобна лишь для одноконтурных генераторов. По своим качествам она несколько хуже предыдущей, но зато значительно проще по конструкции. Длина вибратора l рассчитывается подобно предыдущей антенне. Расстояние точки присоединения фидера от ближайшего конца вибратора l_1 теоретически равно $0,375 l$, а практически его берут обычно несколько меньше чем $0,36 - 0,37l$. Антенна может работать на любых гармониках, однако, практика показала, что на более высоких гармониках (и особенно на 4-й, 8-й и т. д.) результаты получаются уже неважными. Поэтому для более коротких волн рекомендуется делать

Таблица 14.3

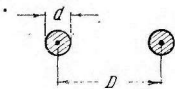
Тип Фидера	Размеры (мм)		β для $\lambda=15$ м	ρ (ом)
	D	d		
	88	22	0,00012	83
	63	17	0,00018	77
	16	4,8	0,00070	72
	100	4,8	0,00017	445
	200	4,8	0,00014	530
	300	4,8	0,00013	578
	100	4,0	0,00019	468
	200	4,0	0,00016	551
	300	4,0	0,00015	600
	100	2,6	0,00027	519
	200	2,6	0,00023	602
	300	2,6	0,00021	650

Таблица 14.4

λ (м)	75,0	76,9	78,9	81	83,3	85,7
l (м)	36,27	37,34	38,33	39,32	40,23	41,30
l_1 (м)	13,09	13,49	13,84	14,18	14,50	14,98

специально рассчитанные на эти волны антенны. Но на 2-й гармонике результаты не хуже, чем на основной волне.

В американской литературе имеются лишь данные для антенн в диапазоне 75—85,7 м при $d = 1,5$ мм. Эти значения l и l_1 приведены в табл. 14. 4. При расчете антенны на другие волны следует изменить данные l и l_1 пропорционально изменению волн. Фидер должен на расстоянии не менее $0,3 l_1$ идти перпендикулярно к вибратору, после чего допускается делать у него повороты, но не резкие (не более чем на 18° , как указывалось выше). Связь фидера с передатчиком делается или непосредственная, или емкостная, или с помощью промежуточного контура, как на рис. 14. 6, а, б и в.

Настройка обеих антенн очень проста и производится на максимум тока в фидере.

Проверка режима бегущей волны может быть сделана перемещением какого-либо индикатора тока или напряжения (тепловой прибор, лампочка накаливания, неоновая лампочка и т. д.) вдоль фидера хотя бы на протяжении $1/8 \lambda$. Постоянство тока или напряжения есть признак режима бегущей

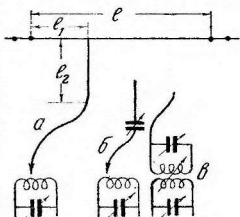


Рис. 14. 6. Типы антенн с однопроводным фидером.

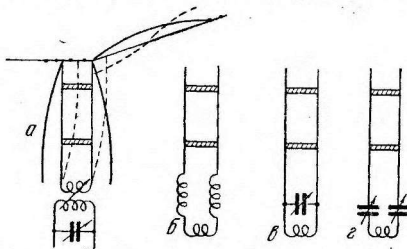


Рис. 14. 7. Несимметричная антенна с питанием напряжением.

волны. А изменение их укажет на наличие стоячих волн, которые следует устранить, изменив точку присоединения фидера к вибратору или уничтожив резкие повороты или другие ненормальности в конструкции фидера. Если максимум тока в фидере при настройке получается не на нужной волне, то значит длина вибратора взята неправильно и ее нужно соответственно изменить.

АНТЕННА «ГЕРЦ» С ПИТАНИЕМ СТОЯЧЕЙ ВОЛНОЙ

Она встречается в нескольких видоизменениях. Первый тип — несимметричная антенна с пучностью напряжения в конце известная под названием «Цепелин» (рис. 14. 7, а) и могущая работать на любых гармониках. Однако, как мы знаем, изменение волны влечет за собой изменение длины фидера. Удлинить фидер можно либо включением в провод последовательно катушек (рис. 14. 7, б), либо присоединением переменного конденсатора параллельно антенной катушке (рис. 14. 7, в). Укорочение фидера достигается включением последовательно переменных конденсаторов (рис. 14. 7, г).

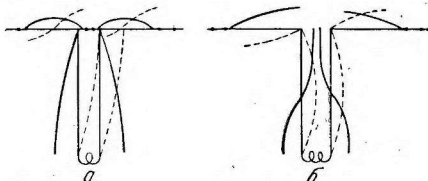


Рис. 14. 8. Симметричные антенны с питанием напряжением или током.

Вибратор может быть расположен как под прямым углом к фидеру, так и составлять одну прямую линию с ним (антенна с «верхним светом»). Настройка «Цепелина», как и всех следующих ниже антенн, производится во-первых, на максимум токов в проводах фидера и, во-вторых, на их одинаковость, которая свидетельствует о правильной настройке фидера на минимум потерь в нем. Эта антенна, как и все несимметричные антенны, пригодна, главным образом, для одноконтных передатчиков. Связь с передатчиком при питании стоячей волной следует всегда делать индуктивную.

Второй тип — симметричная антенна с пучностью тока в конце фидера (рис. 14. 8, а), получается из предыдущей прибавлением второго полуволнового вибратора к холостому фидеру. Здесь вибраторы должны быть обязательно перпендикулярны к фидеру. Как видно, в этой антенне мы имеем случай двух синфазных вибраторов сопротивление излучения которых рассчитывается по табл. 14. 2. Эта антенна может работать подобно «Цепелину» на любых гармониках. Вообще она мало от него отличается, имея лишь одну особенность — удобство применения для двухтактных схем.

Следующий тип, — симметричная антенна с питанием током (рис. 14. 8, б) — допускает работу лишь на нечетных гармониках, а для четных гармоник обращается в предыдущий тип антенны.

АНТЕННА МАРКОНИ

Это обычная приемная длинноволновая однолучевая антенна с горизонтальной частью, вертикальной частью и противовесом. Эти антенны могут

работать на любых гармониках. Однако следует при расчете предусмотреть включение антенной катушки для связи с передатчиком в пучность тока (рис. 14. 9). Рекомендуется при работе на четных гармониках включать параллельно L_A переменный конденсатор C_A , а при нечетных гармониках включать C_A последовательно с L_A . Изменением емкости C_A можно всегда получить возбуждение антенны на нужной гармонике и работать на желаемой волне. В этом отношении антенна Маркони очень удобна. Но ее к. п. д. довольно низок, так как и вертикальная часть, и противовес излучают энергию, бесполезно теряющуюся в окружающих предметах. Тем не менее при работе не на слишком большие расстояния эта антенна дает неплохие результаты. Расчет ее можно производить по формуле (3), приняв в случае близости противовеса и снижения к местным предметам $\alpha = 0,45$.

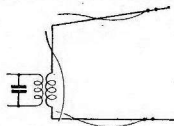


Рис. 14. 9. Антенна типа Маркони.

ПРОСТЕЙШИЕ НАПРАВЛЕННЫЕ АНТЕННЫ

Рассмотренные выше антенны обладают некоторым направленным действием. Вертикальный вибратор не имеет направленности, а горизонтальный вибратор излучает максимально в две противоположные стороны перпендикулярно направлению провода и минимум излучения имеет в направлении вдоль провода. При необходимости осуществить излучение волн только в одном направлении применяют специальные направленные антенны, конструкция которых при коротких волнах может быть весьма несложной. Мы рассмотрим кратко простейшие направленные антенны и совершенно не будем касаться сложных коротковолновых антенн, применяемых на более мощных радиостанциях и дающих очень узкий направленный луч.

1) *Зеркала, или рефлекторы*, для направленной передачи применяются наиболее часто. Примером может служить антенна с так называемым пассивным зеркалом, представляющим провод той же, примерно, длины, что и излучающий вибратор, не имеющий никакого питания и расположенный параллельно вибратору на расстоянии $d = 0,2 \lambda$ от последнего в стороне, противоположной желаемому направлению излучения (рис. 14. 10, а).

Обычно зеркало располагается в одной горизонтальной плоскости с вибратором (если вибратор горизонтален), но при работе на большие расстояния пространственной волной можно для усиления ее расположить зеркало на меньшей высоте, чем вибратор. Для лучшей работы рекомендуется рефлектор делать на 2—3% длиннее вибратора.

Активное зеркало в отличие от пассивного питается так же, как и антенный вибратор, специальным фидером от передатчика или ответвлением от фидера, питающего антенну. Однако активные зеркала применяют, главным образом, в сложных антеннах, и поэтому мы их рассматривать не будем.

2) *Директоры*, или направляющие вибраторы, применяются значительно реже рефлекторов.

В простейшем случае директор представляет провод, несколько укороченный по сравнению с антенным вибратором и расположенный параллельно последнему, но впереди его, т. е. в том направлении от антенны, в котором желательно получить максимальное излучение (рис. 14. 10, б).

При вертикальном расположении антенны и директора последний должен быть на 18—20% короче антенны. А при горизонтальном расположении

директор укорачивается меньше, примерно на 9—10%. Расстояние между директором и антенной не так строго фиксировано, как в случае зеркала, но должно быть обязательно больше $0,5 \lambda$.

Обычно его берут в пределах от $0,7$ до $0,8 \lambda$.

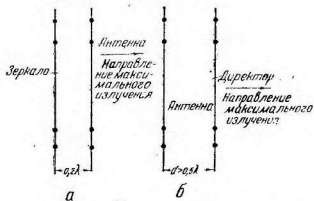


Рис. 14. 10. Принципиальная схема антенны направленного действия.

В более сложных антенных устройствах (особенно на у.к.в.) в направлении максимального излучения ставят не один, а несколько директоров, расположенных через интервалы в $\frac{1}{3} \lambda$ друг за другом. Но для простейшей направленной антенны вполне достаточен один директор. Директоры обычно всегда бывают только пассивные. Действие зеркал и директоров объясняется тем, что они, возбуждаясь от антенны или специальным питанием, играют роль как бы второй антенны, имеющей определенный сдвиг фаз по отношению к основной антенне, в результате чего при сложении излучений антенны и зеркала или директора получается излучение в одну сторону.

ПОЛНЫЙ СПЕКТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Радиотехника применяет для своих целей весьма обширный участок известной нам шкалы электромагнитных колебаний.

В настоящее время известны электромагнитные колебания с частотами от $5 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{21}$ гц. Несомненно, что этот спектр еще далеко простирается как в сторону низких, так и в сторону высоких частот. Если допустить, что планеты, вращаясь вокруг своих солнц, производят электромагнитные возмущения, то мы получим частоты порядка 10^{-10} гц. Такие частоты мы практически не сможем измерить. С другой стороны, предел для частот колебаний в области гамма-лучей и космических лучей еще не установлен.

Несколько лет назад известный ученым спектр частот не являлся сплошным; в разных его частях имели место пробелы. В 1895 г. физик Лебедев впервые получил электрические волны длиной в 3 и 6 м; однако соседние с ним волны порядка одного сантиметра оставались неизвестными до 1934 г., когда они были воспроизведены Клинтоном и Вильямсом. Волны порядка одной десятой миллиметра были воспроизведены и изучены Глаголевой-Аркадьевой также не очень давно — в 1923 г.

Также прошло весьма значительное время между открытием инфракрасных лучей и соседних с ними колебаний (более длинных волн). Целый ряд других пробелов в спектре был заполнен только в последние годы. Это относится к ультрафиолетовым лучам, лучам Рентгена и гамма-лучам.

Весь известный в настоящее время электромагнитный спектр приведен в табл. 15. 1. Здесь все частоты разбиты на 8 групп, занумерованных цифрами от 1 до 8. Каждая группа содержит в себе примерно десять октав или десять таких интервалов, из которых каждый последующий дает вдвое более высокую частоту в сравнении с предыдущим. При этом частоты каждой последующей группы в 1000 раз больше соответствующих частот предыдущей группы. Для примера распределение частот внутри группы 4 может быть воспроизведено следующим образом: первая октава с частотами $3 \cdot 10^8$ до $6 \cdot 10^8$ гц; вторая октава — $6 \cdot 10^8$, до $1,2 \cdot 10^9$; третья — от $1,2 \cdot 10^9$ до $2,4 \cdot 10^9$; четвертая от $2,4 \cdot 10^9$ до $4,6875 \cdot 10^9$; пятая — от $4,6875 \cdot 10^9$ до $9,375 \cdot 10^9$; шестая — от $9,375 \cdot 10^9$ до $1,875 \cdot 10^{10}$; седьмая — от $1,875 \cdot 10^{10}$ до $3,75 \cdot 10^{10}$; восьмая — от $3,75 \cdot 10^{10}$ до $7,5 \cdot 10^{10}$; девятая — от $7,5 \cdot 10^{10}$ до $1,5 \cdot 10^{11}$ и десятая — от $1,5 \cdot 10^{11}$ до $3 \cdot 10^{11}$. Интервалы или октавы берутся обычно пропорциональными следующему ряду чисел: 1000, 500, 250, 125, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1.

В табл. 15.1 приведены лишь такие значения частот и длин волн, которые кратны 10 или 3·10. Это сделано в целях сокращения места, так как полный подробный спектр занял бы слишком много места.

Таблица 15.1

Группа	Частота f гц	Длина волны λ	Источник колебаний	Характеристика колебаний	
1	0,3 3,0 30	10^6 км 10^5 » 10^4 »	Катодный генератор	Альтернатор	Медленные электрические колебания
2	300 3 000 30 000	1000 км 100 » 10 »		Электрические колебания	
3	$3 \cdot 10^5$ $3 \cdot 10^6$ $3 \cdot 10^7$	1000 м 100 » 10 »		Томсоновский контур	Длинные, средние, короткие и ультракороткие радиоволны
4	$3 \cdot 10^8$ $3 \cdot 10^9$ $3 \cdot 10^{10}$	100 см 10 » 1,0 »		Вибратор Герца	Дециметровые и сантиметровые радиоволны
5	$3 \cdot 10^{11}$ $3 \cdot 10^{12}$ $3 \cdot 10^{13}$	1,0 мм 0,1 » 0,01 »		Специальные типы вибраторов Ртутная лампа Ауэровская горелка Вольтова дуга	Переходные и инфракрасные волны (лучи)
6	$3 \cdot 10^{14}$ $3 \cdot 10^{15}$ $3 \cdot 10^{16}$	1,0 м 0,1 » 0,01 »		Искра в вакууме Лабораторные трубки Рентгена	Видимый свет Ультрафиолетовые лучи
7	$3 \cdot 10^{17}$ $3 \cdot 10^{18}$ $3 \cdot 10^{19}$	10 Å 1,0 » 0,1 »		Технические и медицинские трубки Рентгена	Рентгеновские лучи: граничные, мягкие и жесткие
8	$3 \cdot 10^{20}$ $3 \cdot 10^{21}$	10 х 1,0 х		Радиоактивный распад вещества	Гамма-лучи

В качестве единиц измерения для длин волн в различных группах табл. 15. 1 приняты следующие:

Таблица 15. 2

Единица	Сокращенное обозначение
Километр	км
Метр	м
Сантиметр	см
Миллиметр	мм
Микрон (0,001 мм)	μ
Ангстрем (0,0001 μ)	Å
Икс (0,001 Å)	x

Всего таблица охватывает почти 80 октав колебаний.

В табл. 15. 1 приведены наиболее характерные источники возбуждения данных колебаний и дана краткая характеристика самих колебаний. Наглядное соотношение между размерами отдельных участков спектра электромагнитных колебаний показано на рис. 15. 1, на котором отдельно вынесена группа видимых световых лучей.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН

Весь диапазон радиочастот, находящихся практическое применение в технике, достаточно велик; если его считать от волн длиной 20 км до волн в один метр, то это даст 14 октав, или 18% от всего известного спектра электромагнитных колебаний.

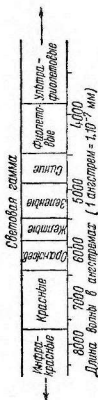
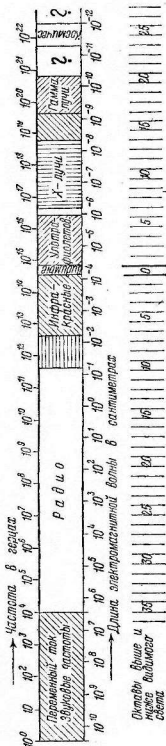


Рис. 15. 1. Полный спектр электромагнитных колебаний:

Частоты	Волны	Наименование диапазона
100 кГц и менее	3000 м и более	Длинные волны
100—1500 кГц	3000—200 м	Средние волны
1500—6000 кГц	200—50 »	Промежуточные волны
6—30 мгГц	50—10 »	Короткие волны
30—300 мгГц	10—1 »	Метровые
300—3000 мгГц	1—0,1 »	Дециметровые
3000—30 000 мгГц	10—1 см	Сантиметровые
		Ультра-короткие волны

Диапазон 5 м — 30 000 м занят целым рядом различных служб.

Так как каждый приемник обычно рассчитан лишь для определенного вида передач (радиовещание, коммерческий телефон и т. п.), то диапазон, перекрываемый отдельным приемником, представляет собой лишь некоторый, обычно очень небольшой, участок указанного выше диапазона.

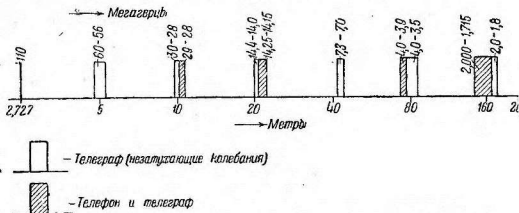


Рис. 15. 2. Диапазоны, предоставленные для радилюбительских передатчиков.

Весь приведенный выше диапазон радиочастот для использования разбит на большое количество участков, предназначенных для той или иной радиослужбы. Укажем некоторые из участков.

Диапазон волн от 30 000 до 2000 м используется исключительно для радиотелеграфной связи при помощи ключа Морзе и скоростных передатчиков. Кажущийся по числу занимаемых «метров» очень большим, этот участок очень невелик по диапазону частот: от 10 до 150 кГц.

Диапазон 2000—200 м (150—1500 кГц) предназначен почти исключительно для целей радиовещания. Лишь отдельные небольшие участки используются для специальных служб: радиосвязи с самолетами, радиомаячной и морской служб.

Диапазон 200—50 м (1500—6000 кгу) передан в основном для профессиональной радиосвязи на близких расстояниях.

Диапазон коротких волн, представляя достаточно большой участок по числу килогерц, поделен на большое количество отдельных участков диапазонов. Происходящая в первой половине 1938 г. международная радиоконференция в Каире вынесла некоторые постановления, которые будут уточняться в феврале 1939 г. и вводиться в силу с сентября 1939 г. Для коротковолнового диапазона намечены следующие изменения радиовещательных участков:

Таблица 15.4

Предоставлено в настоящее время		Намечено каирской конференцией	
в метрах	в мегагерцах	в метрах	в мегагерцах
50,0 — 48,78	6,0 — 6,15	50,0 — 48,39	6,0 — 6,2
31,58 — 31,25	9,5 — 9,6	31,58 — 30,93	9,5 — 9,7
25,64 — 25,21	11,7 — 11,9	25,64 — 25,21	11,7 — 11,9
19,87 — 19,54	15,1 — 15,35	19,87 — 19,54	15,1 — 15,35
16,9 — 16,85	17,75 — 17,8	16,9 — 16,81	17,75 — 17,85
13,99 — 13,92	21,45 — 21,55	13,99 — 13,79	21,45 — 21,75
11,72 — 11,28	25,6 — 26,6	—	—

В связи с тем, что перевод длин волн в частоты приходится теперь делать с повышенной точностью, приводим таблицу, составленную американским бюро стандартов для скорости распространения радиоволн $c = 299\,820$ км/сек.

Для радиолюбительских передатчиков в настоящее время предоставлены небольшие участки волн в 5-, 10-, 20-, 40-, 80- и 160-метровых диапазонах. Эти участки указаны на рис. 15.2.

У. к. в. (ультракоротковолновое) вещание имеет диапазоны 25 — 27 и 41—44 мгу.

Для телевидения (высококачественного) в Европе выделены диапазоны

40,5— 58,5 мгу
 64,0— 70,5 »
 85,0— 94,0 »
 170,0—200,06 »

Из-за слабого развития сети телевизионных передатчиков эти диапазоны используются только частично.

Влияние помех на качество приема

Важнейшим вопросом при расчете радиосвязи является выбор необходимой для того или иного вида радиосвязи величины силы поля. Эта величина при современном состоянии приемной радиотехники (хороших лампах и пр.) определяется уже не предельной чувствительностью приемника и даже не действующей высотой приемной радиосети, а всецело уровнем помех, имеющих в месте приема. Эти помехи включают атмосферные разряды (борьба с которыми весьма затруднительна ввиду их аperiodичности), электрические помехи промышленного происхождения (электромоторы,

Перевод метров в килограммы (или наоборот)

м или кг	кг или м	м или кг	кг или м	м или кг	кг или м	м или кг	кг или м	м или кг	кг или м
10	29,982	360	832,8	710	422,3	1,060	282,8	1,410	212,6
20	14,991	370	810,3	720	416,4	1,070	280,2	1,420	211,1
30	9,994	380	789,0	730	410,7	1,080	277,6	1,430	209,7
40	7,496	390	768,8	740	405,2	1,090	275,1	1,440	208,2
50	5,996	400	749,6	750	399,8	1,100	272,6	1,450	206,8
60	4,997	410	731,3	760	394,5	1,110	270,1	1,460	205,4
70	4,283	420	713,9	770	389,4	1,120	267,7	1,470	204,0
80	3,748	430	697,3	780	384,4	1,130	265,3	1,480	202,6
90	3,331	440	681,4	790	379,5	1,140	263,0	1,490	201,2
100	2,998	450	666,3	800	374,8	1,150	260,7	1,500	199,9
110	2,726	460	651,8	810	370,2	1,160	258,5	1,510	198,6
120	2,499	470	637,9	820	365,6	1,170	256,3	1,520	197,2
130	2,306	480	624,6	830	361,2	1,180	254,1	1,530	196,0
140	2,142	490	611,9	840	356,9	1,190	252,0	1,540	194,7
150	1,999	500	599,6	850	352,7	1,200	249,9	1,550	193,4
160	1,874	510	587,9	860	348,6	1,210	247,8	1,560	192,2
170	1,764	520	576,6	870	344,6	1,220	245,8	1,570	191,0
180	1,666	530	565,7	880	340,7	1,230	243,8	1,580	189,8
190	1,578	540	555,2	890	336,9	1,240	241,8	1,590	188,6
200	1,499	550	545,1	900	333,1	1,250	239,9	1,600	187,4
210	1,428	560	535,4	910	329,5	1,260	238,0	1,610	186,2
220	1,363	570	526,0	920	325,9	1,270	236,1	1,620	185,1
230	1,304	580	516,9	930	322,4	1,280	234,2	1,630	183,9
240	1,249	590	508,2	940	319,0	1,290	232,4	1,640	182,8
250	1,199	600	499,7	950	315,6	1,300	230,6	1,650	181,7
260	1,153	610	491,5	960	312,3	1,310	228,9	1,660	180,6
270	1,110	620	483,6	970	309,1	1,320	227,1	1,670	179,5
280	1,071	630	475,9	980	303,9	1,330	225,4	1,680	178,5
290	1,034	640	468,5	990	302,8	1,340	223,7	1,690	177,4
300	999,4	650	461,3	1,000	299,8	1,350	222,1	1,700	176,4
310	967,2	660	454,3	1,010	296,9	1,360	220,4	1,710	175,3
320	936,9	670	447,5	1,020	293,9	1,370	218,8	1,720	174,3
330	908,6	680	440,9	1,030	291,1	1,380	217,3	1,730	173,3
340	881,8	690	434,5	1,040	288,3	1,390	215,7	1,740	172,3
350	856,6	700	428,3	1,050	285,5	1,400	214,2	1,750	171,3

Таблица 15.5

юг) по формуле $f_{кгц} = \frac{299820}{\lambda_{ж}}$ или $\lambda_{ж} = \frac{299820}{f_{кгц}}$

м или кгц	кгц или м	м или кгц	кгц или м	м или кгц	кгц или м	м или кгц	кгц или м	м или кгц	кгц или м
1,760	170,4	2,110	142,1	2,460	121,9	2,810	106,7	3,160	94,88
1,770	169,4	2,120	141,4	2,470	121,4	2,820	106,3	3,170	94,58
1,780	168,4	2,130	140,8	2,480	120,9	2,830	105,9	3,180	94,28
1,790	167,5	2,140	140,1	2,490	120,4	2,840	105,6	3,190	93,99
1,800	166,6	2,150	139,5	2,500	119,9	2,850	105,2	3,200	93,69
1,810	165,6	2,160	138,8	2,510	119,5	2,860	104,8	3,210	93,40
1,820	164,7	2,170	138,1	2,520	119,0	2,870	104,5	3,220	93,11
1,830	163,8	2,180	137,5	2,530	118,5	2,880	104,1	3,230	92,82
1,840	162,9	2,190	136,9	2,540	118,0	2,890	103,7	3,240	92,54
1,850	162,1	2,200	136,3	2,550	117,6	2,900	103,4	3,250	92,25
1,860	161,2	2,210	135,7	2,560	117,1	2,910	103,0	3,260	91,97
1,870	160,3	2,220	135,1	2,570	116,7	2,920	102,7	3,270	91,69
1,880	159,5	2,230	134,4	2,580	116,2	2,930	102,3	3,280	91,41
1,890	158,6	2,240	133,8	2,590	115,8	2,940	102,0	3,290	91,13
1,900	157,8	2,250	133,3	2,600	115,3	2,950	101,6	3,300	90,86
1,910	157,0	2,260	132,7	2,610	114,9	2,960	101,3	3,310	90,58
1,920	156,2	2,270	132,1	2,620	114,4	2,970	100,9	3,320	90,31
1,930	155,3	2,280	131,5	2,630	114,0	2,980	100,6	3,330	90,04
1,940	154,5	2,290	130,9	2,640	113,6	2,990	100,3	3,340	89,77
1,950	153,8	2,300	130,4	2,650	113,1	3,000	99,94	3,350	89,50
1,960	153,0	2,310	129,8	2,660	112,7	3,010	99,61	3,360	89,23
1,970	152,2	2,320	129,2	2,670	112,3	3,020	99,28	3,370	88,97
1,980	151,4	2,330	128,7	2,680	111,9	3,030	98,95	3,380	88,70
1,990	150,7	2,340	128,1	2,690	111,5	3,040	98,62	3,390	88,44
2,000	149,9	2,350	127,6	2,700	111,0	3,050	98,30	3,400	88,18
2,010	149,2	2,360	127,0	2,710	110,6	3,060	97,98	3,410	87,92
2,020	148,4	2,370	126,5	2,720	110,2	3,070	97,66	3,420	87,67
2,030	147,7	2,380	126,0	2,730	109,8	3,080	97,34	3,430	87,41
2,040	147,0	2,390	125,4	2,740	109,4	3,090	97,03	3,440	87,16
2,050	146,3	2,400	124,9	2,750	109,0	3,100	96,72	3,450	86,90
2,060	145,5	2,410	124,4	2,760	108,6	3,110	96,41	3,460	86,65
2,070	144,8	2,420	123,9	2,770	108,2	3,120	96,10	3,470	86,40
2,080	144,1	2,430	123,4	2,780	107,8	3,130	95,79	3,480	86,16
2,090	143,5	2,440	122,9	2,790	107,5	3,140	95,48	3,490	85,91
2,100	142,8	2,450	122,4	2,800	107,1	3,150	95,18	3,500	85,66

М ИЛИ КЗЦ	КЗЦ ИЛИ М	М ИЛИ КЗЦ	КЗЦ ИЛИ М	М ИЛИ КЗЦ	КЗЦ ИЛИ М	М ИЛИ КЗЦ	КЗЦ ИЛИ М	М ИЛИ КЗЦ	КЗЦ ИЛИ М
3,510	85,42	3,910	76,68	4,310	69,56	4,710	63,66	5,110	58,67
3,520	85,18	3,920	76,48	4,320	69,40	4,720	63,52	5,120	58,56
3,530	84,94	3,930	76,29	4,330	69,24	4,730	63,39	5,130	58,44
3,540	84,70	3,940	76,10	4,340	69,08	4,740	63,25	5,140	58,33
3,550	84,46	3,950	75,90	4,350	68,92	4,750	63,12	5,150	58,22
3,560	84,22	3,960	75,71	4,360	68,77	4,760	62,99	5,160	58,10
3,570	83,98	3,970	75,52	4,370	68,61	4,770	62,86	5,170	57,99
3,580	83,75	3,980	75,33	4,380	68,45	4,780	62,72	5,180	57,88
3,590	83,52	3,990	75,14	4,390	68,30	4,790	62,59	5,190	57,77
3,600	83,28	4,000	74,96	4,400	68,14	4,800	62,46	5,200	57,66
3,610	83,05	4,010	74,77	4,410	67,99	4,810	62,33	5,210	57,55
3,620	82,82	4,020	74,58	4,420	67,83	4,820	62,20	5,220	57,44
3,630	82,60	4,030	74,40	4,430	67,68	4,830	62,07	5,230	57,33
3,640	82,37	4,040	74,21	4,440	67,53	4,840	61,95	5,240	57,22
3,650	82,14	4,050	74,03	4,450	67,38	4,850	61,82	5,250	57,11
3,660	81,92	4,060	73,85	4,460	67,22	4,860	61,69	5,260	57,00
3,670	81,70	4,070	73,67	4,470	67,07	4,870	61,56	5,270	56,89
3,680	81,47	4,080	73,49	4,480	66,92	4,880	61,44	5,280	56,78
3,690	81,25	4,090	73,31	4,490	66,78	4,890	61,31	5,290	56,68
3,700	81,03	4,100	73,13	4,500	66,63	4,900	61,19	5,300	56,57
3,710	80,81	4,110	72,95	4,510	66,48	4,910	61,06	5,310	56,46
3,720	80,60	4,120	72,77	4,520	66,33	4,920	60,94	5,320	56,36
3,730	80,38	4,130	72,60	4,530	66,19	4,930	60,82	5,330	56,25
3,740	80,17	4,140	72,42	4,540	66,04	4,940	60,69	5,340	56,15
3,750	79,95	4,150	72,25	4,550	65,89	4,950	60,57	5,350	56,04
3,760	79,74	4,160	72,07	4,560	65,75	4,960	60,45	5,360	55,94
3,770	79,53	4,170	71,90	4,570	65,61	4,970	60,33	5,370	55,83
3,780	79,32	4,180	71,73	4,580	65,46	4,980	60,20	5,380	55,73
3,790	79,11	4,190	71,56	4,590	65,32	4,990	60,08	5,390	55,63
3,800	78,90	4,200	71,39	4,600	65,18	5,000	59,96	5,400	55,52
3,810	78,69	4,210	71,22	4,610	65,04	5,010	59,84	5,410	55,42
3,820	78,49	4,220	71,05	4,620	64,90	5,020	59,73	5,420	55,32
3,830	78,28	4,230	70,88	4,630	64,76	5,030	59,61	5,430	55,22
3,840	78,08	4,240	70,71	4,640	64,62	5,040	59,49	5,440	55,11
3,850	77,88	4,250	70,55	4,650	64,48	5,050	59,37	5,450	55,01
3,860	77,67	4,260	70,38	4,660	64,34	5,060	59,25	5,460	54,91
3,870	77,47	4,270	70,22	4,670	64,20	5,070	59,13	5,470	54,81
3,880	77,27	4,280	70,05	4,680	64,06	5,080	59,02	5,480	54,71
3,890	77,07	4,290	69,89	4,690	63,93	5,090	58,90	5,490	54,61
3,900	76,88	4,300	69,73	4,700	63,79	5,100	58,79	5,500	54,51

М или кгц	кгц или М	М или кгц	кгц или М	М или кгц	кгц или М	М или кгц	кгц или М	М или кгц	кгц или М
5,510	54,41	5,910	50,73	6,310	47,52	6,710	44,68	7,110	42,17
5,520	54,32	5,920	50,65	6,320	47,44	6,720	44,62	7,120	42,11
5,530	54,22	5,930	50,56	6,330	47,36	6,730	44,55	7,130	42,05
5,540	54,12	5,940	50,47	6,340	47,29	6,740	44,48	7,140	41,99
5,550	54,02	5,950	50,39	6,350	47,22	6,750	44,42	7,150	41,93
5,560	53,92	5,960	50,31	6,360	47,14	6,760	44,35	7,160	41,87
5,570	53,83	5,970	50,22	6,370	47,07	6,770	44,29	7,170	41,82
5,580	53,73	5,980	50,14	6,380	46,99	6,780	44,22	7,180	41,76
5,590	53,64	5,990	50,05	6,390	46,92	6,790	44,16	7,190	41,70
5,600	53,54	6,000	49,97	6,400	46,85	6,800	44,09	7,200	41,64
5,610	53,44	6,010	49,89	6,410	46,77	6,810	44,03	7,210	41,58
5,620	53,35	6,020	49,80	6,420	46,70	6,820	43,96	7,220	41,53
5,630	53,25	6,030	49,72	6,430	46,63	6,830	43,90	7,230	41,47
5,640	53,16	6,040	49,64	6,440	46,56	6,840	43,83	7,240	41,41
5,650	53,07	6,050	49,56	6,450	46,48	6,850	43,77	7,250	41,35
5,660	52,97	6,060	49,48	6,460	46,41	6,860	43,71	7,260	41,30
5,670	52,88	6,070	49,39	6,470	46,34	6,870	43,64	7,270	41,24
5,680	52,79	6,080	49,31	6,480	46,27	6,880	43,58	7,280	41,18
5,690	52,69	6,090	49,23	6,490	46,20	6,890	43,52	7,290	41,13
5,700	52,60	6,100	49,15	6,500	46,13	6,900	43,45	7,300	41,07
5,710	52,51	6,110	49,07	6,510	46,06	6,910	43,39	7,310	41,02
5,720	52,42	6,120	48,99	6,520	45,98	6,920	43,33	7,320	40,96
5,730	52,32	6,130	48,91	6,530	45,91	6,930	43,26	7,330	40,90
5,740	52,23	6,140	48,83	6,540	45,84	6,940	43,20	7,340	40,85
5,750	52,14	6,150	48,75	6,550	45,77	6,950	43,14	7,350	40,79
5,760	52,05	6,160	48,67	6,560	45,70	6,960	43,08	7,360	40,74
5,770	51,96	6,170	48,59	6,570	45,63	6,970	43,02	7,370	40,68
5,780	51,87	6,180	48,51	6,580	45,57	6,980	42,95	7,380	40,63
5,790	51,78	6,190	48,44	6,590	45,50	6,990	42,89	7,390	40,57
5,800	51,69	6,200	48,36	6,600	45,43	7,000	42,83	7,400	40,52
5,810	51,60	6,210	48,28	6,610	45,36	7,010	42,77	7,410	40,46
5,820	51,52	6,220	48,20	6,620	45,29	7,020	42,71	7,420	40,41
5,830	51,43	6,230	48,13	6,630	45,22	7,030	42,65	7,430	40,35
5,840	51,34	6,240	48,05	6,640	45,15	7,040	42,59	7,440	40,30
5,850	51,25	6,250	47,97	6,650	45,09	7,050	42,53	7,450	40,24
5,860	51,16	6,260	47,89	6,660	45,02	7,060	42,47	7,460	40,19
5,870	51,08	6,270	47,82	6,670	44,95	7,070	42,41	7,470	40,14
5,880	50,99	6,280	47,74	6,680	44,88	7,080	42,35	7,480	40,08
5,890	50,90	6,290	47,67	6,690	44,82	7,090	42,29	7,490	40,03
5,900	50,82	6,300	47,59	6,700	44,75	7,100	42,23	7,500	39,98

м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м
7,510	39,92	7,760	38,64	8,010	37,43	8,260	36,30	8,510	35,23
7,520	39,87	7,770	38,59	8,020	37,38	8,270	36,25	8,520	35,19
7,530	39,82	7,780	38,54	8,030	37,34	8,280	36,21	8,530	35,15
7,540	39,76	7,790	38,49	8,040	37,29	8,290	36,17	8,540	35,11
7,550	39,71	7,800	38,44	8,050	37,24	8,300	36,12	8,550	35,07
7,560	39,66	7,810	38,39	8,060	37,20	8,310	36,08	8,560	35,03
7,570	39,61	7,820	38,34	8,070	37,15	8,320	36,04	8,570	34,98
7,580	39,55	7,830	38,29	8,080	37,11	8,330	35,99	8,580	34,94
7,590	39,50	7,840	38,24	8,090	37,06	8,340	35,95	8,590	34,90
7,600	39,45	7,850	38,19	8,100	37,01	8,350	35,91	8,600	34,86
7,610	39,40	7,860	38,14	8,110	36,97	8,360	35,86	8,610	34,82
7,620	39,35	7,870	38,10	8,120	36,92	8,370	35,82	8,620	34,78
7,630	39,29	7,880	38,05	8,130	36,88	8,380	35,78	8,630	34,74
7,640	39,24	7,890	38,00	8,140	36,83	8,390	35,74	8,640	34,70
7,650	39,19	7,900	37,95	8,150	36,79	8,400	35,69	8,650	34,66
7,660	39,14	7,910	37,90	8,160	36,74	8,410	35,65	8,660	34,62
7,670	39,09	7,920	37,86	8,170	36,70	8,420	35,61	8,670	34,58
7,680	39,04	7,930	37,81	8,180	36,65	8,430	35,57	8,680	34,54
7,690	38,99	7,940	37,76	8,190	36,61	8,440	35,52	8,690	34,50
7,700	38,94	7,950	37,71	8,200	36,56	8,450	35,48	8,700	34,46
7,710	38,89	7,960	37,67	8,210	36,52	8,460	35,44	8,710	34,42
7,720	38,84	7,970	37,62	8,220	36,47	8,470	35,40	8,720	34,38
7,730	38,79	7,980	37,57	8,230	36,43	8,480	35,36	8,730	34,34
7,740	38,74	7,990	37,52	8,240	36,39	8,490	35,31	8,740	34,30
7,750	38,69	8,000	37,48	8,250	36,34	8,500	35,27	8,750	34,27

проводка; электрозажигание и пр.) и в некоторых случаях акустический и электромагнитный (например, при приеме на самолете).

В табл. 15.6 даны приближенные значения желательной напряженности поля в микровольтах на метр (для населенной местности). Таблица составлена на основании измерений.

Для коротких волн эти требования можно значительно уменьшить, так как воздействие помех на коротковолновом диапазоне будет значительно меньше. Общая картина распределения помех по диапазону показана на графике рис. 15.3. Значения на графике указаны весьма приблизительно, ибо сила помех изменяется и от времени суток, времени года, погоды, общего состояния атмосферы, магнитных бурь и пр.

В связи с большой чувствительностью современных приемников возможность и качество приема решают обычно соотношение между уровнем сигнала и уровнем помех. Приводим табл. 15.7, представленную делегацией США на Мадридской конференции 1932 г. Таблица дает грубо ориентировочный порядок необходимого соотношения между уровнем помех и уровнем сигнала для случаев предельного и хорошего приема.

м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м	м или кГц	кГц или м
8,760	34,23	9,010	33,28	9,260	32,38	9,510	31,53	9,760	30,72
8,770	34,19	9,020	33,24	9,270	32,34	9,520	31,49	9,770	30,69
8,780	34,15	9,030	33,20	9,280	32,31	9,530	31,46	9,780	30,66
8,790	34,11	9,040	33,17	9,290	32,27	9,540	31,43	9,790	30,63
8,800	34,07	9,050	33,13	9,300	32,24	9,550	31,39	9,800	30,59
8,810	34,03	9,060	33,09	9,310	32,20	9,560	31,36	9,810	30,56
8,820	33,99	9,070	33,06	9,320	32,17	9,570	31,33	9,820	30,53
8,830	33,95	9,080	33,02	9,330	32,14	9,580	31,30	9,830	30,50
8,840	33,92	9,090	32,98	9,340	32,10	9,590	31,26	9,840	30,47
8,850	33,88	9,100	32,95	9,350	32,07	9,600	31,23	9,850	30,44
8,860	33,84	9,110	32,91	9,360	32,03	9,610	31,20	9,860	30,41
8,870	33,80	9,120	32,88	9,370	32,00	9,620	31,17	9,870	30,38
8,880	33,76	9,130	32,84	9,380	31,96	9,630	31,13	9,880	30,35
8,890	33,73	9,140	32,80	9,390	31,93	9,640	31,10	9,890	30,32
8,900	33,69	9,150	32,77	9,400	31,90	9,650	31,07	9,900	30,28
8,910	33,65	9,160	32,73	9,410	31,86	9,660	31,04	9,910	30,25
8,920	33,61	9,170	32,70	9,420	31,83	9,670	31,01	9,920	30,22
8,930	33,57	9,180	32,66	9,430	31,79	9,680	30,97	9,930	30,19
8,940	33,54	9,190	32,62	9,440	31,76	9,690	30,94	9,940	30,16
8,950	33,50	9,200	32,59	9,450	31,73	9,700	30,91	9,950	30,13
8,960	33,46	9,210	32,55	9,460	31,69	9,710	30,88	9,960	30,10
8,970	33,42	9,220	32,52	9,470	31,66	9,720	30,85	9,970	30,07
8,980	33,39	9,230	32,48	9,480	31,63	9,730	30,81	9,980	30,04
8,990	33,35	9,240	32,45	9,490	31,59	9,740	30,78	9,990	30,01
9,000	33,31	9,250	32,41	9,500	31,56	9,750	30,75	10,000	29,98

Отмечались отдельные случаи приема (на-слух) телеграфных сигналов при напряженностях поля в 0,5 мкв/м, однако уровень атмосферных помех и внутриламповых шумов обычно превышает этот уровень.

На стр. 543 указано, какие напряжения являются типовыми при испытании радиовещательных приемников. Как видно из этих указаний, даже высокочувствительные многоламповые приемники не испытываются при напряжениях, соответствующих напряженности поля менее $50:4 = 12,5$ мкв/м.

ПОДСЧЕТ СИЛЫ ПОЛЯ ОТ РАДИОПЕРЕДАТЧИКА НА БЛИЗКИХ РАССТОЯНИЯХ

Приближенный расчет силы поля можно производить по следующей упрощенной формуле:

$$E_0 = \frac{9500\sqrt{P_z}}{d},$$

где E_0 — напряженность поля в микровольтах на метр,

P_e — излучаемая мощность передатчика в ваттах,

d — расстояние между приемником и передатчиком в километрах.

Этой формулой можно пользоваться до расстояний, соответствующих 100 длинам волн передатчика ($d \leq 100\lambda$, где d и λ в одинаковых единицах).

Сила поля, образованного поверхностной волной, может быть подсчитана по полуэмпирической формуле Остина, различные варианты которой различаются лишь измененными степенями показательной функции:

$$E = E_0 \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} \cdot e^{-\frac{0,09 d}{\lambda^{0,6}}},$$

где E — сила поля у поверхности земли в микровольтах на метр,

E_0 — сила поля, равная, как указано выше, $E_0 = \frac{9500 \sqrt{P_e}}{d}$, также

в микровольтах на метр,

d — расстояние в километрах,

λ — рабочая длина волны в метрах,

$e = 2,72...$

θ — центральный (геоцентрический) угол, определение которого дано на стр. 604.

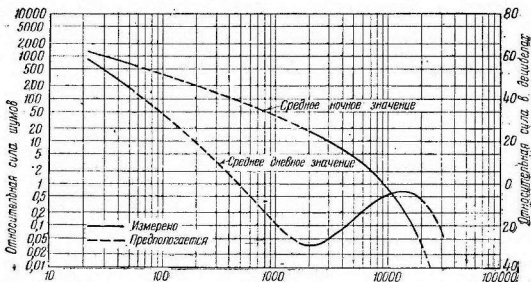


Рис. 15. 3. График относительного распределения помех по частотам.

Для приближенных расчетов множитель $\sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}}$ можно полагать равным единице.

Приведенная основная формула Остина дает средние дневные значения силы поля при распространении волны вдоль морской поверхности. Формула учитывает только поверхностную волну (земной луч).

Таблица 15.6

Характер передачи	Волна в метрах	Сила помех								
		слабая (зима, ран- нее летнее утро)			средняя (весна и осень — ночь)			сильная (лето — день)		
		Качество приема								
		пло- хой	удов- летво- рит.	хоро- ший	пло- хой	удов- летво- рит.	хоро- ший	пло- хой	удов- летво- рит.	хоро- ший
Медленный телеграф (прием на слух)	10 000	5	10	15	10	20	30	30	40	60
	5 000	3	5	10	5	10	15	10	20	40
Быстродей- ствующий телеграф (100 слов в минуту)	10 000	25	50	75	50	100	150	75	200	300
	3 000	10	15	25	15	30	50	30	60	100
Коммерче- ский радио- телефон	2 000	40	100	300	80	200	600	300	600	1200
Радиовеща- ние	1 500	150	400	1200	300	1000	3000	500	1500	5000
	500	50	150	400	100	300	1000	150	500	1500

Таблица 15.7

Способ приема	Предельный прием				Хороший прием			
	отношение силы сигнала к помехе		децибелы		отношение силы сигнала к помехе		децибелы	
	от	до	от	до	от	до	от	до
Слуховой прием	0,5	2	—6	+6	2	3	6	10
Автоматический (ондуляторный)	2	3	6	10	3	10	10	20
Автоматический (буквопечатающий)	5	10	14	20	18	30	25	30
Телефония коммерческая	3	6	10	16	18	56	25	35
Радиовещание	5	10	14	20	30	100	30	40

По измерениям, выполненным лабораториями НТУ НК Связи, для дневного распространения радиоволн от 200 до 2000 м в условиях средней полосы СССР можно применять формулу Остина при следующих коэффициентах:

$$E = E_0 \cdot e^{-\frac{0,03 d}{\lambda^{0,33}}} = \frac{9500 \sqrt{P_\epsilon}}{d} \cdot e^{-\frac{0,03 d}{\lambda^{0,33}}},$$

где E — сила поля в микровольтах на метр,
 E_0 — сила поля в отсутствии потерь (см. выше) в микровольтах на метр,
 P_ϵ — мощность, излучаемая передатчиком в ваттах,
 d — расстояние между приемником и передатчиком в километрах,
 λ — рабочая длина волны в метрах.

Формула Зоммерфельда

Более полной и точной по сравнению с формулой Остина является формула Зоммерфельда, учитывающая активную проводимость и диэлектрическую постоянную почвы, вдоль которой происходит распространение радиоволн:

$$E = E_0 A = \frac{9500 \sqrt{P_\epsilon}}{d} \cdot A,$$

где E и E_0 — в микровольтах на метр (см. выше),
 P_ϵ — в ваттах.

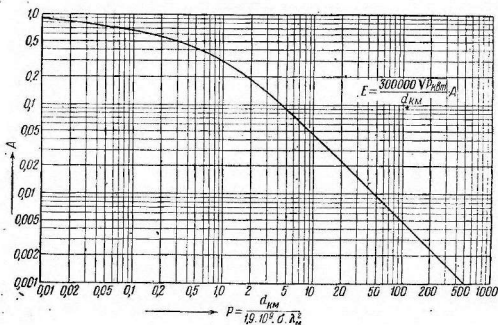


Рис. 15. 4.

Коэффициент A учитывает поглощение энергии почвой и определяется по графику рис. 15. 4 в зависимости от вспомогательного коэффициента p :

для длинных волн

$$p = \frac{d}{1,9 \cdot 10^9 \cdot \sigma \cdot \lambda^2},$$

для коротких волн

$$p = \frac{3140 d}{(\epsilon + 1) \lambda},$$

здесь d — расстояние в километрах,

λ — рабочая длина волны в метрах,

σ — проводимость почвы в электромагнитных единицах:

для сухой и горной местности $\sigma = 1 \cdot 10^{-14}$,

для низменностей $\sigma = 3 \cdot 10^{-13}$,

для моря $\sigma = 5 \cdot 10^{-11}$,

для средней полосы СССР можно считать $\sigma = 1 \cdot 10^{-13}$;

ϵ — диэлектрическая постоянная почвы; для морской воды $\epsilon = 80$;

для суши $\epsilon = 5-30$ (чем почва суше, тем ϵ меньше).

Границей между длинноволновым и коротковолновым диапазонами является диапазон примерно около $\lambda = 200$ м.

Формула Зоммерфельда, так же как и формула Остина, дает расчет только для поверхностной волны.

Примечание. График рис. 15.4 вычислен для зависимости коэффициента поглощения A (коэффициент Зоммерфельда) от вспомогательного коэффициента p :

$$A = \frac{2 + 0,3 p}{2 + p + 0,6 p^2} - \sqrt{\frac{p}{2}} \cdot e^{-\frac{5p}{8}}.$$

РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОРОТКИХ ВОЛН

Короткие волны имеют быстро затухающую поверхностную волну, превращающуюся далее в мертвую зону, где сила поля ослабевает настолько, что приема сигнала нет. За мертвой зоной начинаются зоны, где прием коротких волн появляется иногда с большой силой поля, получаемого от пространственной волны (отраженного луча). Короткие волны отражаются от ионизированных слоев атмосферы, носящих название слоев Хевисайда. Известны более низкий слой F_1 , расположенный на высоте около 200 километров, и более высокий слой F_2 , располагающийся на высотах между 250—350 километров над земной поверхностью.

Высота расположения и состояние этих слоев непрерывно изменяются в зависимости от погоды, времени суток и времени года, влияния солнечных возмущений и некоторых еще мало изученных причин космического порядка. Поэтому точного расчета дальности действия радиостанции при отраженных волнах не существует.

Большой (многолетний) экспериментальный материал позволяет, однако, установить некоторые зависимости, по которым в настоящее время с достаточной достоверностью можно выбрать волну для заданной дальней связи на коротких волнах.

Для расчета приводим сводную таблицу (15.8), составленную Юнгом, дающую основные характеристики распространения пространственного луча для волн короче 200 м. Кроме того, на рис. 15.5 и 15.6 приведены экспериментальные графики, составленные американским Бюро стандартов.

ГРАФИКИ АМЕРИКАНСКОГО БЮРО СТАНДАРТОВ

Подсчет напряженности поля от пространственной волны достаточно сложен и неточен, так как состояние слоев Хевисайда является слишком неоднородным и не поддающимся точному учету (особенно при связи на даль-

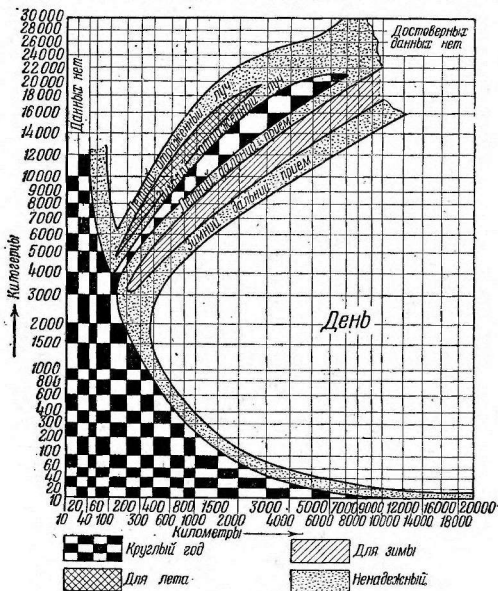


Рис. 15. 5.

ние расстояния, куда волна поступает после нескольких отражений). В этом случае оказываются полезными таблицы и графики, отражающие зависимости, полученные опытным путем.

Приведем графики (15. 5 и 15. 6), составленные еще в 1932 г. американским Бюро стандартов и не потерявшие своего значения и до настоящего времени.

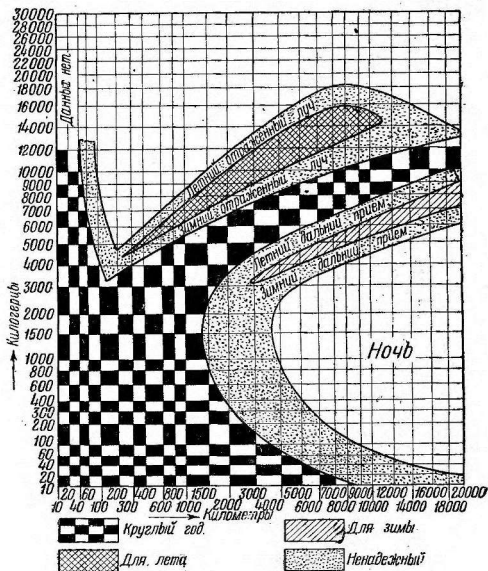


Таблица Юнга — распространение волн 10—200 м
(30 000—1 500 кгц)

Частота мгц	Длина волны м	Глубина поверхности волн, км	Мертвая зона				Дальность надежного приема			
			Лето		Зима		Лето		Зима	
			день км	ночь км	день км	ночь км	день км	ночь км	день км	ночь км
1,500—1,715	200—175	160	—	—	—	—	160	160	250	500
1,715—2,00	175—150	145	—	—	—	—	200	280	270	950
2,00—2,25	150—133	135	—	—	—	—	210	400	320	1 200
2,25—2,75	133—109	130	—	—	—	—	240	550	350	2 400
2,75—2,85	109—105	115	—	—	—	—	270	800	480	4 000
2,85—3,50	105—85	105	—	—	—	—	320	1 450	550	4 800
3,50—4,00	85—75	95	—	—	—	—	400	2 400	650	7 200
4,00—5,50	75—54	90	—	—	—	—	480	6 500	800	11 000
5,50—5,70	54,0—52,7	80	—	—	—	—	650	6 500	950	13 000
5,70—6,00	52,7—50,0	80	80	80	80	95	720	8 000	1 050	13 000
6,00—6,15	50,0—48,8	80	95	110	95	145	800	9 000	1 100	13 000
6,15—6,68	48,8—45,0	70	110	185	130	120	900	10 500	1 200	13 000
6,68—7,00	45,0—42,8	70	130	300	160	450	1 050	11 000	1 300	13 000
7,00—7,30	42,8—41,0	70	145	350	185	580	1 100	12 000	1 450	13 000
7,30—8,20	41,0—36,6	65	220	470	280	750	1 200	13 000	1 800	13 000
8,20—8,55	36,6—35,1	65	250	600	320	910	1 300	13 000	2 100	13 000
8,55—8,90	35,1—33,7	65	270	680	370	1 000	1 450	13 000	2 300	13 000
8,90—9,50	33,7—31,6	60	320	780	430	1 150	1 500	13 000	2 700	13 000

9,50 — 9,60	31,6 — 31,2	60	350	850	450	1 200	1 600	13 000	2 900	13 000	Мало пригодно
9,60 — 11,0	31,2 — 27,3	55	420	1 000	520	1 400	1 800	13 000	3 500	13 000	
11,0 — 11,4	27,3 — 26,3	55	480	1 200	610	1 600	1 900	13 000	4 000	13 000	
11,4 — 11,7	26,3 — 25,6	55	500	1 300	650	1 750	2 100	13 000	4 300	—	
11,7 — 11,9	25,6 — 25,2	55	540	1 350	680	1 800	2 400	13 000	4 500	—	
11,9 — 12,3	25,2 — 24,4	50	560	1 400	700	1 900	2 500	13 000	4 800	—	
12,3 — 12,825	24,4 — 23,4	50	600	1 500	740	2 000	2 600	13 000	5 100	—	
12,825 — 13,35	23,4 — 22,4	50	630	1 600	780	Отраженная волна не поступает на землю	2 700	13 000	5 500	—	
13,35 — 14,00	22,4 — 21,4	50	670	1 700	820		2 900	13 000	5 900	—	
14,0 — 14,4	21,4 — 20,8	50	710	1 850	880		3 100	6 500	6 500		
14,4 — 15,1	20,8 — 19,85	50	740	2 000	930		3 500	7 000	7 000		
15,1 — 15,35	19,85 — 19,55	50	760	2 100	980		3 700	7 500	7 500		
15,35 — 16,4	19,55 — 18,30	50	800	2 200	1 050		4 000	8 100	8 100		
16,4 — 17,1	18,30 — 17,50	40	880		1 100		4 800	9 000	9 000		
17,1 — 17,75	17,50 — 16,90	40	930		1 200		5 600	10 000	10 000		
17,75 — 17,8	16,90 — 16,85	40	960		1 250		6 400	10 500	10 500		
17,8 — 21,45	16,85 — 14,00	30	1 050		1 350		8 000	11 000	11 000		
21,45 — 21,55	14,00 — 13,90	30	1 200		1 700		9 500	11 000	11 000		
21,55 — 22,3	13,90 — 13,45	30	1 300		1 750		11 000	11 000	11 000		
22,3 — 23,0	13,45 — 13,10	30	1 350		1 800		11 000	11 000	11 000		
23,0 — 28,0	13,10 — 10,70	25	1 450		1 900		Не выявлено	Не выявлено	Не выявлено	Не выявлено	
28,0 — 30,0	10,70 — 10,00	15	1 600		2 200						

к телеграфному приему, осуществимому в реальных условиях напряженности поля от $1 \frac{\text{мкв}}{\text{м}}$ (при частотах порядка 20 000 кц) и до $10 \frac{\text{мкв}}{\text{м}}$, необходимых при частотах около 2000 кц. График составлен для мощности передатчика в 5 квт, причем дальности действия, дающие повышенные напряженности поля, на графиках не выделены. Антенна при указанной мощности (5 квт) направленного действия не имеет.

Основные обозначения, необходимые для пользования графиками, показаны на самих чертежах.

Для тех случаев, когда при больших расстояниях часть пути между передатчиком и приемным пунктом радиоволны проходят «днем» и часть «ночью», действующей дальностью надо считать средние цифры между соответствующими дальностями действия обоих графиков.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН

Для у. к. в. передатчиков сила поля может быть найдена по следующей формуле:

$$E = \frac{85 \sqrt{P_e} h_1 h_2}{\lambda d^2},$$

где E — сила поля в микровольтах на метр,

P_e — излучаемая мощность у.к.в. передатчика в ваттах,

h_1 — высота расположения антенны передатчика (над земной поверхностью) в метрах,

h_2 — высота расположения приемной антенны в метрах,

λ — рабочая длина волны в метрах,

d — расстояние между передающим и приемным пунктами в километрах.

Этой формулой можно пользоваться для волн от 10 м и меньше для расстояний, не превышающих длину оптического луча между приемным и передающим пунктами (т. е. прямой линии, не пересекающей земной поверхности).

Пределом дальности действия у. к. в. передатчика в настоящее время приходится считать эту длину оптического луча.

Практически более реальными являются напряженности, вычисленные по этой формуле с числовым коэффициентом 30 вместо 85.

Пример расчета. Телевизионный передатчик мощностью (излучаемой) 15 квт работает на волне 5,77 м. Передающая антенна расположена на вышке антенны на высоте 160 м, приемная антенна установлена на крыше здания на высоте 50 м, на расстоянии 42 км от передатчика. Требуется найти силу поля в приемном пункте.

Решение. Выражаем все данные в единицах, указанных для приведенной формулы:

$$P_e = 15\,000 \text{ вт},$$

$$h_1 = 160 \text{ м},$$

$$h_2 = 50 \text{ м},$$

$$\lambda = 5,77 \text{ м},$$

$$d = 42 \text{ км}.$$

Подставляя эти данные в формулу, получим:

$$E = 8200 \frac{\text{мкв}}{\text{м}} \text{ (или } 2900 \frac{\text{мкв}}{\text{м}} \text{ при коэффициенте 30)}.$$

Максимальная длина оптического луча, соединяющая между собой (см. рис. 15. 7) точки A и B , поднятые соответственно на высоты h_1 и h_2 , выразится прямой ACB , являющейся касательной к земной поверхности:

$$\overline{AB} = d_1 + d_2 = \sqrt{\frac{h_1 R}{500}} + \sqrt{\frac{h_2 R}{500}};$$

здесь d_1 и d_2 — в километрах,
 h_1 и h_2 — в метрах,
 R — радиус земного шара в километрах ($R = 6370$ км).

На рис. 15. 8 дан график для подсчета расстояния оптического луча d_1 или d_2 , т. е. для случая, когда один пункт находится на уровне земной поверхности, а второй поднят на высоту h (метров). Если оба пункта подняты на высоты h_1 и h_2 , то по графику рис. 15.8 находят поочередно d_1 и d_2 , которые затем складываются. При очень малых высотах график не позволяет делать

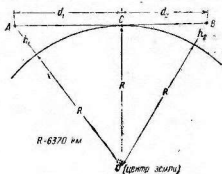


Рис. 15. 7.

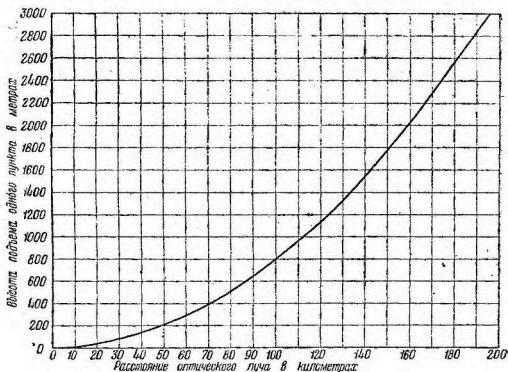


Рис. 15. 8.

точного отсчета, и пользоваться следует вышеприведенной формулой, однако надо иметь в виду, что неровности почвы, окружающие здания, будут при

малых высотах искажать линию распространения луча, что и внесет неточность в расчеты для малых h и малых d .

РАСЧЕТ АЗИМУТОВ И РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ПУНКТАМИ СВЯЗИ

Если местоположение двух пунктов A и B задано их географическими координатами — широтами l_1 и l_2 и долготами d_1 и d_2 , то кратчайшее расстояние между этими пунктами по дуге большого круга вычисляется по формуле:

$$S_{KM} = 111 \cdot \theta,$$

где S_{KM} — расстояние по дуге большого круга в километрах,

θ — центральный угол между этими пунктами A и B в градусах.

Центральный угол θ вычисляется из формул:

I. Если $d_1 - d_2 < 90^\circ$, то

$$\cos \theta = \frac{\sin(l_2 + C) \cdot \sin l_1}{\cos C},$$

II. Если $d_1 - d_2 > 90^\circ$, то

$$\cos \theta = \cos(90^\circ - l_1) \cos(90^\circ - l_2) + \sin(90^\circ - l_1) \sin(90^\circ - l_2) \cos(d_1 - d_2).$$

В этих формулах C — вспомогательный угол, определяемый из выражения

$$\operatorname{tg} C = \operatorname{ctg} l_1 \cos(d_1 - d_2).$$

Румб α , образуемый направлением из пункта A в B , вычисляется из выражения

$$\sin \alpha = \frac{\sin(d_1 - d_2) \cos l_2}{\sin \theta}.$$

Румб β , образуемый направлением из пункта B в A , вычисляется из выражения

$$\sin \beta = \frac{\sin(d_1 - d_2) \cos l_1}{\sin \theta}.$$

Полученные в результате расчета румбы α и β приводятся к азимутам, т. е. к углам, отсчет которых ведется только от северного направления меридиана по часовой стрелке.

Для получения достаточной точности вычисления углов следует производить при помощи логарифмирования приводимых выше выражений.

ПРОСТЕЙШИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ДЛИННОВОЛНОВЫХ АНТЕНН

1) Собственная длина волны открытого вибратора находится подстановкой в формулу Томсона динамических постоянных вибратора:

$$L_d = \frac{2}{\pi} L_s,$$

$$C_d = \frac{2}{\pi} C_s,$$

где L_d и C_d — динамические значения индуктивности и емкости открытого вибратора, а L_s и C_s — статические постоянные тех же величин (в тех же единицах).

2) *Волновой коэффициент*. Для любой, сколь угодно сложной радиосети ее собственная длина волны λ_0 связана с геометрической длиной радиосети l уравнением

$$\lambda_0 = \beta \cdot l,$$

где под геометрической длиной l надлежит понимать полную длину у наидлиннейшего провода радиосети (от точки заземления до точки узла силы тока). Например, для Т-образной радиосети (рис. 15. 9) под геометрической длиной l подлежит понимать сумму длины вертикального провода h и длины горизонтального плеча b :

$$l = h + b.$$

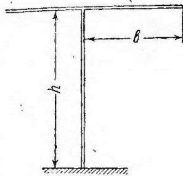


Рис. 15. 9. Основные геометрические размеры длинноволновой Т-образной антенны.

В приведенном выше уравнении коэффициент пропорциональности β носит название волнового коэффициента. Величина этого коэффициента зависит от типа радиосети, числа проводов и прочих многих обстоятельств, влияющих на величину собственной погонной емкости и собственной индуктивности радиосети (например окружающих радиосеть предметов). Приближенные найденные из практики значения волнового коэффициента для различных типов радиосети приведены в табл. 15. 9.

Таблица 15. 9

Тип радиосети	β
Вертикальный провод	4,0—4,1
Наклонный провод	4,2
Горизонтальный провод на расстоянии 1 м от земли	5
Т-образная сеть с несильно развитой горизонтальной частью	4,5—5
Т-образная сеть с широкой горизонтальной частью	5—7
Т-образная сеть с шириной горизонтальной части, равной ее длине	9
Г-образная сеть	4,4—4,8
Зонтичная сеть с небольшим числом лучей	6—8
Зонтичная сеть с очень большим числом лучей	8—10

3) *Расчет статической емкости радиосети* с достаточной для практики точностью можно производить по следующим формулам.

Для любого плоского типа радиосети (Г- и Т-образные с горизонтальной плоской верхней системой проводов) может быть использована формула Остина

$$C = \left(36 \sqrt{a} + 0,8 \frac{a}{h} \right) \left(1 + 0,015 \frac{l}{b} \right),$$

где C — статическая емкость радиосети в сантиметрах,
 a — площадь верхней части радиосети в кв. метрах,
 h — средняя геометрическая высота радиосети в метрах,
 l — длина горизонтальной части радиосети в метрах,
 b — ширина горизонтальной части в метрах.

4) Для радиослушательских приемных однопроводных антенн любой конфигурации статическую емкость можно определять ориентировочно из того расчета, что каждый погонный метр провода вносит емкость 5 см (5,5 мкмкф). При двухпроводной антенне каждый погонный метр антенны дает статическую емкость около 8 см.

5) Действующая высота рамочной антенны эквивалентна:

$$h_e = \frac{2 \pi NS}{\lambda},$$

где h_e — действующая высота рамки в метрах,
 N — число витков рамки,
 S — площадь одного витка рамки в кв. метрах,
 λ — рабочая длина волны в метрах,
 $2\pi = 6,28...$

6) Сопротивление излучения для простых антенн

$$R_s = 60 \pi^2 \cdot \frac{h_e^2}{\lambda^2},$$

где R_s — сопротивление излучения в омах,
 h_e — действующая высота антенны в метрах,
 λ — рабочая длина волны в метрах.

7) Сопротивление излучения рамки:

$$R_s = 160 \pi^2 \frac{h_e^2}{\lambda^2},$$

где обозначения те же, что и для формулы п. 6, величина действующей высоты h_e рамки определяется из п. 5.

8) Мощность излучения при простых антеннах определяется через

$$P_s = 60 \pi^2 \frac{I^2 h_e^2}{\lambda^2},$$

где P_s — полная излучаемая мощность в ваттах,
 I — сила тока (эффективное значение) в пучности в амперах,
 h_e — действующая высота антенны в метрах,
 λ — рабочая длина волны в метрах.

9) Сопротивление излучения вертикальной антенны при собственной длине волны составляет

$$R_s = 36,6 \text{ ом.}$$

10) Сопротивление излучения диполя

$$R_s = 73,2 \text{ ома.}$$

11) Сопротивление излучения вертикальной антенны при волнах длиннее собственной:

Таблица 15.10

Отношение рабочая дли- на волны собственная длина волны	R_s — сопро- тивление из- лучения ом	Отношение рабочая дли- на волны собственная длина волны	R_s — сопро- тивление из- лучения ом
1,00	36,6	2,62	3,78
1,12	26,4	3,14	2,58
1,21	21,7	3,93	1,65
1,31	17,65	5,26	0,90
1,43	14,28	7,85	0,30
1,57	11,62	15,70	0,082
1,74	9,10	31,42	0,010
1,97	6,92		
2,24	5,19		

Таблица 15.11

ТЕЛЕГРАФНАЯ АЗБУКА МОРЗЕ

БУКВЫ		Знак азбуки Морзе	БУКВЫ		Знак азбуки Морзе
русские	латинские		русские	латинские	
а	a	.-	с	s	...
б	b		т	t	—
в	w	.-.-	у	u	..-.
г	g	—.-.	ф	f	...-
д	d	—..	х	h	
э,е	e	.	ц	c	—.-.-.
ж	v	...—	ч	ch	—.-.-.-.
з	z	—.-.-.	ш	sh	—.-.-.-.-
и	i	..	щ	q	—.-.-.-
к	k	—.-.-	ь	x	—.-.-.-
л	l	.-.-.-	ы	y	—.-.-.-
м	m	—.-.-	—	e	..-.-.
н	n	—.-	ю	u	..-.-.-
о	o	—.-.-.-	я	a	..-.-.-
п	p	—.-.-.-	й	j	..-.-.-
р	r	—.-.-			

Цифры полные	Цифры сокращенные
1 . — — —	1 . —
2 . — — —	2 . —
3 . — — —	3 . —
4 . . . —	4 . . . —
5	5
6 —	6 —
7 — — . . .	7 — . . .
8 — — — . .	8 — . .
9 — — — .	9 — .
0 — — — — —	0 —
Дробная черта	Дробная черта — —
— — — — —	№ (номер) —

Знаки препинания

Точка (.)	
Запятая (,)	. — . — . —
Вопросительный знак (?)	. — . — . —
Тире (—)	— —
Кавычки („)	. — . — . —
Знак подчеркивания	. — . — . —
Точка с запятой (;)	. — . — . —
Восклицательный знак (!)	— . — . — . —
Знак отделяющий	— . . . —
Скобки ()	— . — . — . —
Знак новой строки	. — . — . —
Двоеточие (:)	— . — . — . —
Апостроф (')	. — . — . — . —
Плюс (+)	. — . — . —

Служебные знаки

Знак „понял“	. — . — . —
„ждать“	. — . — . — . —
„верно“ и „квитанция“	. — . — . — . — . —
Конец передачи	. — . — . — . —
Приглашение к приему	. — . — . — . — . —
„к передаче“	. — . — . — . — . —
Ошибка („не понял“)	. — . — . — . — . —
Начало действия	. — . — . — . — . —

ОПТИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Телевидением (дальневидением) называется процесс видения неподвижных и движущихся объектов, удаленных от наблюдателя так, что свет от этих объектов не может дойти до наблюдателя. Такой процесс осуществляется при помощи следующих этапов:

1. Преобразование света, отраженного от передаваемого объекта, в электрические импульсы в их определенной последовательности (разложение изображения).

2. Передача электрических импульсов по радиотракту или по проводам к месту наблюдения (приема).

3. Прием электрических импульсов и их обратное преобразование (синтез изображения) в световые сигналы в соответствии с системой разложения на стороне передачи.

Международная свеча — единица силы света, дающая энергию в видимых световых лучах приблизительно 220 000 эрг/сек.

Люмен — единица светового потока, равная световому потоку, заключенному в единичном телесном угле (стерадиан), от источника света силой в 1 св. Если обозначим световой поток через Φ и силу света через I , то получим соотношение:

$$\Phi = 4\pi I.$$

Полагая $I = 1$, получаем $\Phi = 4\pi$ лм; единичный же поток (1 лм) представляет собой световой поток, создаваемый 1 св в телесном угле, равном $\frac{1}{4\pi}$, т. е. 1 срд.

Люкс — единица освещенности. Если на поверхность S (квадратные метры) падает световой поток Φ (люмены), то освещенность E (люксы) выражается как:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Отсюда очевидно, что если на поверхность в 1 м² падает световой поток в 1 лм (равномерно по всей поверхности), то освещенность данной поверхности и будет равна 1 лк.

Стильб — единица яркости. Если источник света имеет излучающую поверхность, равную 1 см², и силу света, равную 1 св, то яркость такого источника будет равна 1 ст (стильбу).

Отраженная яркость также измеряется в стильбах. Две равные поверхности, имеющие одинаковую освещенность (люксы), могут давать различную яркость, в зависимости от отражающих свойств этих поверхностей и от угла, образуемого отраженными лучами к поверхности.

Яркость B совершенно рассеивающей поверхности определяется по формуле:

$$B = \frac{E}{\pi \cdot 10000} \quad (E \text{ — в люксах}).$$

Альбедо — величина, характеризующая отражательное свойство поверхности, равная отношению отраженного светового потока к величине всего потока, падающего на данную поверхность. Если падающий поток Φ_n и отраженный Φ_o , то альбедо ρ будет:

$$\rho = \frac{\Phi_o}{\Phi_n}.$$

Учитывая свойства поверхности, получаем более общее выражение для величины яркости:

$$B = \frac{\rho E}{\pi \cdot 10^4}.$$

Яркость различных источников света (в стильбах)

Поверхность солнца	200 000
Кратер вольтовой дуги	15 000
Нить полуваттной лампы	1 000
Пламя свечи	0,5
Поверхность луны	0,25
Экран кино	0,01
Порог раздражения глаза	10^{-10}

Альбедо различных поверхностей

Белая стена	$\rho = 0,75$
Желтая бумага	$\rho = 0,4$
Коричневая бумага	$\rho = 0,13$
Черное сукно	$\rho = 0,01$
Черный бархат	$\rho = 0,004$

Различные освещенности (в люксах)

Летом в полдень	50 000
Зимой в полдень	7 000
Хорошая искусственная освещенность	200
Освещенность, достаточная для письменной работы	30

РАЗЛОЖЕНИЕ И СИНТЕЗ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Передаваемое изображение разлагается на строки (состоящие из некоторого числа элементов). Каждый элемент строки дает электрический (или световой) импульс, величина которого зависит от освещенности данного участка изображения в момент передачи. Чем меньше величина элемента (толщина строки), тем большее количество строк (и элементов) разместится на экране приемника (или передатчика) и тем выше будет четкость разложения. Один полный цикл разложения (или синтеза) называется кадром изображения. Чем больше будет число кадров за единицу времени, тем лучше глаз воспримет изображение на приеме.

Для низкокачественных систем телевидения число строк колеблется от 30 до 120, а число кадров — от 10 до 30 в секунду. Для высококачественных систем число строк 240—450 при числе кадров от 25 до 60.

Если обозначим число строк через z , число элементов через n , число кадров в секунду N , то для экрана квадратной формы получим следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \text{полное число элементов} & \dots \dots \dots n = z^2, \\ \text{число импульсов в секунду} & \dots \dots \dots z^2 N \\ \text{наивысшая частота электрических импульсов} & f_m = \frac{1}{2} z^2 N. \end{aligned}$$

Коэффициент $1/2$ принят здесь потому, что два соседних элемента изображения трансформируются в один цикл электрических импульсов.

Полагая $N = 25$, получаем следующие наивысшие частоты изображения (в герцах):

при $z = 30$	$f_m = 11\,000$
» $z = 120$	$f_m = 180\,000$
» $z = 300$	$f_m = 1\,100\,000$
» $z = 450$	$f_m = 2\,500\,000$

При определении наиболее выгоднейшей четкости изображений принимается в соображение разрешающая способность глаза, т. е. минимальный угол, под которым глаз в состоянии различать какие-либо объекты. При нормальном освещении разрешающая способность составляет величину порядка 1 минуты. Энгстром провел опыты и построил график, позволяющий определять четкость в строках в зависимости от величины экрана изображения и расстояния от экрана до зрителя (рис. 16. 1). Этот график построен, исходя из условия понимания сюжета рассматриваемой передачи. Из графика сле-

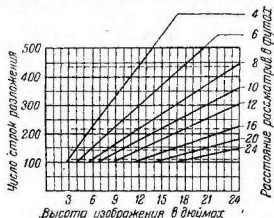


Рис. 16. 1. График Энгстрема.

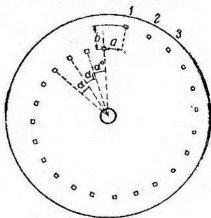


Рис. 16. 2.

дует, что более или менее приличное воспроизведение требует четкости от 200 строк и выше. Так, изображение в 200 строк с высотой 12 дм. может быть понято с расстояния около 10 фут (3 м).

Диск Нипкова

Для подавляющего большинства систем низкокачественного телевидения применяется диск Нипкова с отверстиями, расположенными по спирали (рис. 16.2). Уравнение спирали для отверстий имеет вид:

$$R_m = R_1 + \frac{b}{2} \cdot \frac{a_m}{\pi},$$

где R_m — радиус спирали для данного отверстия,

R_1 — наименьший радиус для первого отверстия,

α_m — угол между первым и данным отверстиями $\alpha_m = \alpha (m - 1)$.

Схема передачи и приема изображений при помощи диска Нипкова приведена на рис. 16. 3. Здесь D_1 — передающий диск, D_2 — приемный диск.

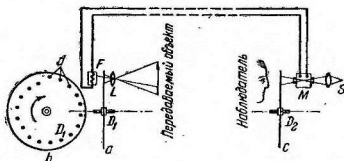


Рис. 16. 3. Схема устройства для видения на расстоянии, предложенная Нипковым.

Передаваемый объект фокусируется объективом L на диск D_1 ; импульсы света от разложенного изображения падают на фотоземельный элемент F , преобразуясь в электрические, и передаются на место приема, где модулируют свет источника S при помощи модулятора M . Наблюдатель видит через отверстия диска D_2 (вращающегося синхронно и синфазно с диском D_1) передаваемое изображение. Синхронизм вращения диска обеспечивается обычно синхронным мотором, вращающим диск с добавленным к нему так называемым «колесом Лакура», представляющим собой реактивный синхронный мотор, через обмотки которого пропускается усиленный ток синхронизации.

КАТОДНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

В основе катодного телевидения лежат иконоскоп (передающая трубка) и кинескоп (приемная трубка).

Иконоскоп (рис. 16. 4) содержит в откачанном баллоне мозаику M , электронный прожектор Π и фокусирующую систему A_1 и A_2 . Электронный луч фокусируется на мозаику и при помощи отклоняющей системы O прочерчивает на мозаике параллельные линии (строки). Оптическое изображение, отброшенное на мозаику (очувствленную цезием), создает на ней электрические заряды, пропорциональные освещенности. Эти заряды снимаются электронным лучом. Сигнальная пластинка (образующая с мозаикой конденсаторы) получает при этом импульсы тока, которые в дальнейшем усиливаются и передаются. На рис. 16. 5 дана схема включения иконоскопа, на которой сигнальная пластинка обозначена через P_s .

Фокусирующие системы обычно изготавливаются в форме двух цилиндрических анодов. На рис. 16. 6 показаны разрез такой системы и ее оптическая аналогия. Такая система называется электростатической фокусирующей системой. Применяется еще электромагнитная система, в которой фокусировка достигается при помощи магнитного поля, создаваемого катушкой с током. Такая катушка просто надевается на горловину иконоскопа или кинескопа.

Приемная трубка (кинескоп) показана на рис. 16. 7 (внизу дан ее разрез). Электронный прожектор и фокусирующие электроды устроены аналогично таковым в иконоскопе. Здесь электронный луч фокусируется не на мозаику, а на флуоресцирующий экран S . Прочерчивая линии на экране и заставляя последний светиться, электронный луч образует так называемый **р а с т р**

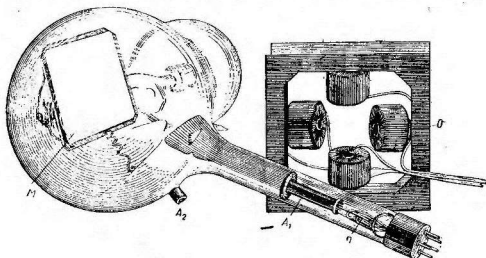


Рис. 16. 4. Иконоскоп д-ра Зворыкина.

(рис. 16. 8), т. е. сетку прямых и обратных линий, на которых при подведении сигналов изображения к цилиндру Венельта трубки и возникает само изо-

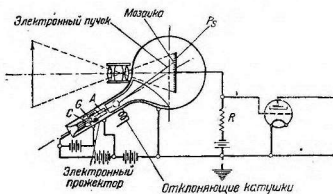


Рис. 16. 5. Схема иконоскопа.

бражение. Цилиндр Венельта имеет посередине отверстие, через которое электроны пролетают от катода на экран трубки. Отрицательное напряжение, приложенное к этому цилиндру, уменьшает количество пролетающих электронов и этим изменяет яркость элементов раstra на экране («модули-

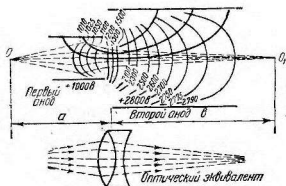


Рис. 16. . Электрическая линза.

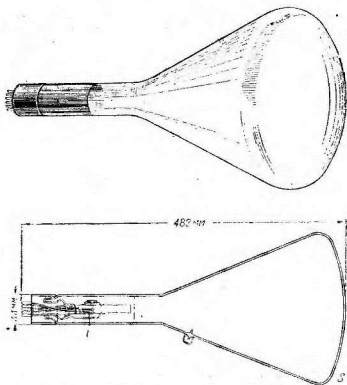


Рис. 16. 7. Расположение электродов для получения и концентрации луча в кинескопе.

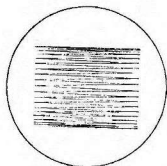


Рис. 16. 8.

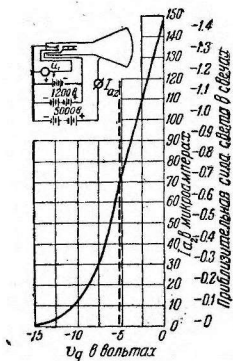


Рис. 16. 9. Модуляционная характеристика трубки д-ра Зворыкина.

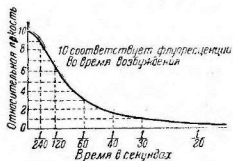


Рис. 16. 10. Кривая затухания флуоресценции искусственного видлемита по д-ру Зворыкину.

рует трубку»). Модуляционная характеристика кинескопа показана на рис. 16. 9.

Флуоресцирующий экран изготавливается большей частью из так называемого виллемита (минерал или искусственное соединение вида Zn_2SiO_4). Свечение такого экрана, будучи возбуждено ударом электронов, затухает не сразу, а по некоторой кривой (рис. 16. 10). Интенсивность свечения характеризуется формулой:

$$B = Ai (U - U_0),$$

где i — плотность электронного потока,
 $U - U_0$ — ускоряющий потенциал электронов,

A — постоянная, зависящая от вещества экрана.

Рис. 16. 11. Схема использования приемной трубки для получения изображения на большом экране.

За последние годы реализовано несколько систем так называемого «большого экрана» с помощью проекции изображения трубки через объектив O на увеличенный экран D (рис. 16. 11).

РАЗВЕРТКА И СИНХРОНИЗАЦИЯ

Отклонение электронного луча в электрическом поле (рис. 16. 12) выражается формулой:

$$D = \frac{aLU}{2dU_a},$$

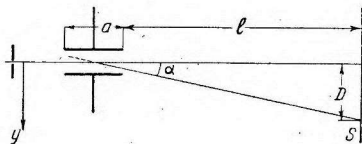


Рис. 16. 12.

где d — расстояние между отклоняющими пластинками,

$$L = l + \frac{a}{2},$$

U_a — анодное напряжение трубки,

U — напряжение, приложенное между пластинками;

Отклонение электронного луча в магнитном поле круглой катушки (рис. 16. 13) равно:

$$\frac{0,38 \ln D_1^2 \left(\frac{D}{2} + h \right) \cdot D}{\sqrt{U_a} [D_1^2 + (S + l)^2]^{1/2}},$$

где n — число витков отклоняющей катушки,

I — ток катушки,

U_a — ускоряющий потенциал электронов.

Для удлиненной катушки (рис. 16. 14), чаще всего применяемой в практике, имеет место следующая формула для величины отклонения:

$$l = 0,48 \frac{anikh}{\sqrt{U}} \left[\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{c \sqrt{(a^2 + c^2)(b^2 + c^2)}} + \frac{a^2 \beta}{\sqrt{(a^2 + c^2)^3}} \right],$$

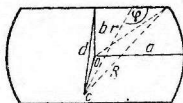
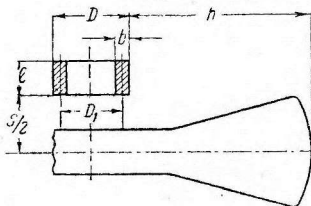


Рис. 16. 13. Параметры катушки для отклонения луча магнитным полем. Рис. 16. 14. Схематический чертёж витка.

где l — величина отклонения на экране кинескопа в см,

a — радиус дуговых сторон катушки или половина диагонали среднего витка в см,

b — расстояние от центра катушки до прямолинейной части среднего витка в см,

c — расстояние между центром среднего витка и центральной осью катодной трубки в см,

n — количество витков одной катушки,

h — расстояние от центра катушки до экрана электроннолучевой трубки в см,

$\beta = \arcsin \frac{b}{a}$, выраженное в радианах,

U — напряжение на втором аноде кинескопа в в,

i — величина тока, протекающего по катушкам отклоняющей системы, в а,

k — коэффициент, зависящий от магнитных свойств цилиндра и расстояния его поверхности от отклоняющих катушек (для воздуха $k = 1$; для железного цилиндра в описанной системе для кадровых катушек $k = 1,20$ и для строчечных катушек $k = 1,05$).

Отклоняющие импульсы (тока или напряжения) подаются на трубку в форме так называемых пилообразных сигналов (рис. 16. 15). Простейшая схема для получения таких импульсов приведена на рис. 16. 16, где конденсатор C заряжается от источника постоянного напряжения E через сопротивление R . По достижении определенного потенциала (потенциал зажигания искрового промежутка a) конденсатор разряжается. Затем про-

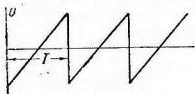


Рис. 16. 15.

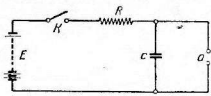


Рис. 16. 16. Простейшая схема генератора пилообразного напряжения: a — искровой промежуток.

цесс повторяется снова. В качестве искрового промежутка может применяться неоновая лампа, тиратрон или обычная трехэлектродная лампа. Кривые для напряжения конденсатора C показаны на рис. 16. 17. Конденсатор C носит название зарядного конденсатора, сопротивление R называется зарядным сопротивлением, а лампа a — разрядной лампой.

Время заряда T и разряда τ для приведенной схемы определяется следующими формулами:

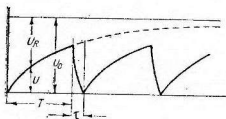


Рис. 16. 17.

$$T = RC \ln \frac{U_0 - U_{\min}}{U_0 - U_{\max}},$$

$$\tau = C \frac{U_{\max} - U_{\min}}{i_{\text{ср}}},$$

где U_0 — напряжение источника E ,
 $U_{\max}$ — потенциал зажигания промежутка a ,
 $U_{\min}$ — потенциал гашения промежутка a ,
 $i_{\text{ср}}$ — средний за время τ разрядный ток.

Вместо описанной схемы часто применяется так называемый блокинг-генератор (рис. 16. 18 и 16. 19). Импульсы, генерируемые им, подаются на сетку разрядной лампы P , в цепи которой включены зарядный конденсатор C и зарядное сопротивление R_1 . Назначение сопротивления R_2 будет объяснено в дальнейшем. Сигналы поступают с зарядного конденсатора на усилитель. Теория показывает, что для получения пилообразного тока в отклоняющих катушках (анодная цепь усилителя) на сетку усилителя следует подводить не чистую пилу, а более сложный сигнал, отмеченный индексом B на рис. 16. 20. Такой сигнал образуется путем добавления к пилообразному напряжению зарядного конденсатора импульсов B (рис. 16. 20), образующихся на сопротивлении R_2 (рис. 16. 18). Процесс создания такой формы сигнала называется коррекцией сигнала развертки (так называемый пикинг-контроль).

Еще одна коррекция осуществляется при помощи нелинейности характеристики лампы усилителя (рис. 16. 21). Вторая коррекция частично компенсирует экспоненциальный характер сигнала развертки.

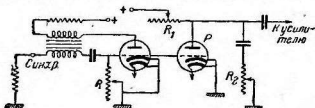


Рис. 16. 18. Принципиальная схема блокинг-генератора.

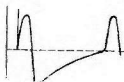


Рис. 16. 19. Форма кривой напряжения сетки блокинг-генератора.

Эта коррекция носит название коррекции распределения, так как, будучи включена в кадровую развертку, она регулирует распределение строк раstra (или так называемый дисrрибьюшен-контрoль).

Работа выходной части усилителя развертки имеет огромное влияние на правильность формы сигналов отклонения. Ниже приводятся результаты, полученные А. А. Железовым для схемы рис. 16. 22 при форме напряжения U_{θ} , показанной на рис. 16. 23.

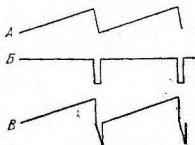


Рис. 16. 20.

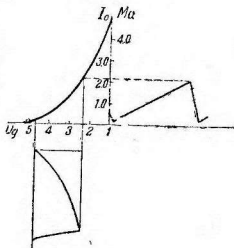


Рис. 16. 21. Коррекция при помощи нелинейного участка характеристики лампы.

Относительные мгновенные значения тока через катушку L на участках, соответствующих прямому и обратному ходам импульса, имеют следующий вид:

$$I_1 = \frac{a}{\gamma} \left[\frac{2}{\gamma n(1-n)} \cdot \frac{1-e^{-\gamma n}}{1-e^{-\gamma}} e^{-\gamma x} + \frac{2x'}{1-n} + 1 + \frac{2}{\gamma n} \right] \quad 0 \leq x \leq 1-n,$$

$$I_2 = \frac{a}{\gamma} \left(-\frac{2}{\gamma n(1-n)} \cdot \frac{1-e^{-\gamma(1-n)}}{1-e^{-\gamma}} e^{-\gamma x'} - \frac{2x'}{n} + 1 + \frac{2}{\gamma n} \right) \quad 0 \leq x \leq n,$$

где

$$a = \frac{T}{L} \frac{R_a}{(1 + SDR_a)}$$

$$\gamma = \frac{TR_a}{L} \left(1 + \frac{R_L}{R_a} + SDR_L \right) \frac{1}{1 + SDR_a};$$

$$x = \frac{t}{T}; \quad x' = \frac{1}{T} (t - T + t_p); \quad t_p = nT;$$

$$I_1 = \frac{i_{L1}}{SU_{gm}} \quad \text{и} \quad I_2 = \frac{i_{L2}}{SU_{gm}},$$

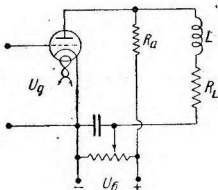


Рис. 16. 22.

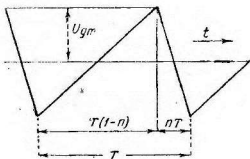


Рис. 16. 23.

i_{L1} и i_{L2} — токи в отклоняющих катушках, а I_1 и I_2 — относительные значения тока.

Относительное запаздывание максимального значения тока происходит на величину:

$$x_{\max} = \frac{1}{\gamma} \lg \frac{1}{1-n} \cdot \frac{1 - e^{-\gamma(1-n)}}{1 - e^{-\gamma}}.$$

Относительное запаздывание минимального значения тока:

$$x_{\min} = \frac{1}{\gamma} \lg \frac{1}{n} \cdot \frac{1 - e^{-\gamma n}}{1 - e^{-\gamma}}.$$

Общее увеличение обратного хода:

$$\frac{1}{\gamma} \lg \frac{1-n}{n} \cdot \frac{1 - e^{-\gamma n}}{1 - e^{-\gamma(1-n)}}.$$

Введение корректирующих импульсов (рис. 16. 24) позволяет сильно улучшить линейность тока в отклоняющих катушках. При величине корректирующего импульса $U_p = \frac{2U_{gm}}{\gamma n (1-n)}$ уравнения для токов I_1 и I_2 при-

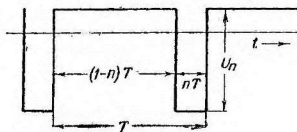


Рис. 16. 24.

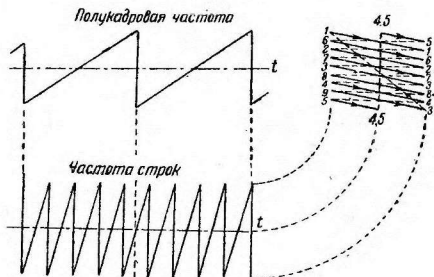


Рис. 16. 25.

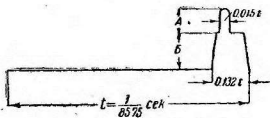


Рис. 16. 26.

нимают вид:

$$I_1 = \frac{a}{\gamma} \left(\frac{2x}{1-n} - 1 \right);$$

$$I_2 = \frac{a}{\gamma} \left(1 - \frac{2x'}{n} \right).$$

За последние годы большое распространение получила система развертки через строку. Схема образования раstra при таком способе развертки показана на рис. 16. 25. Здесь один кадр изображения развертывается двумя полукадрами.

Форма сигналов синхронизации строк и полукадров приведена на рис. 16. 26 и 16. 27. Цифры, стоящие там, дают величины для четкости разложения в 343 строки при 30 кадрах (60 полукадрах) в секунду.

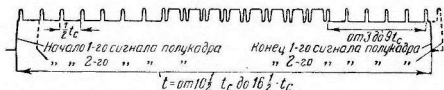


Рис. 16. 27. Форма полукадровых сигналов синхронизации.

Сигналы синхронизации состояются большей частью из прямоугольных импульсов различной продолжительности. Если импульсы (рис. 16. 28)

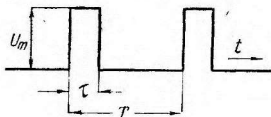


Рис. 16. 28.

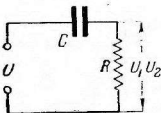


Рис. 16. 29.

подводятся к схеме рис. 16. 29, то переменное напряжение на сопротивлении R (сетка лампы) имеет вид:

$$\frac{U_1}{U_m} = a e^{-t/CR} \quad 0 \leq t \leq \tau;$$

$$\frac{U_2}{U_m} = -b e^{-t/CR} \quad \tau \leq t \leq T,$$

где

$$a = 1 - \frac{e^{-\tau/CR} - 1}{e^{-T/CR} - 1};$$

$$b = \frac{e^{-\tau/CR} - 1}{1 - e^{-T/CR}}.$$

На рис. 16. 30 приведена общая скелетная схема телевизионного центра, рассчитанного на четкость в 343 строки.

Рис. 16. 31 дает такую схему для приемного устройства типа ТК-1.

Дальнейшее изложение, относящееся к элементам телевидения, дается в форме терминов, расположенных в алфавитном порядке.

Детальность—степень воспроизведения мелких деталей изображения. Для увеличения детальности в телеприемниках иногда устраивается отдельная регулировка, которая расширяет спектр в сторону высоких частот.

Звуковое сопровождение. Одновременно с передачей отдельных изображений или сцен передается звук (по особому каналу), сопровождающий данную картину (речь, пение, музыка и т. д.).

Контрастность—резкость (отчетливость) отдельных деталей изображения при переходе от самых светлых деталей к самым темным. Контрастность зависит от величины сигналов изображения, поступающих на модулирующий электрод. В приемниках обычно предусматривается регулировка, позволяющая изменять контрастность в некоторых пределах (потенциометр в схеме усилителя изображений).

Коаксиальный кабель—кабель, пропускающий большую полосу частот. Такие кабели проклады-

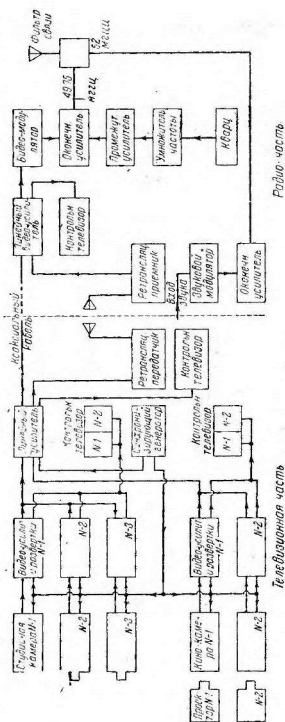


Рис. 16. 30.

ваются между крупными городами для передачи изображений из одного города в другой. Образец высокочастотного кабеля приведен на рис. 16.32.

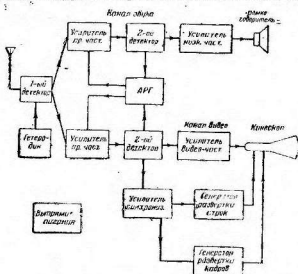


Рис. 16.31. Принципиальная (скелетная) схема телеприемника ТК-1.

Модулятор света. Наиболее употребительным модулятором света служит приемная катодная трубка (кинескоп). В оптико-механических системах телевидения применяются модуляторы с постоянным источником света. Таким является, например, известный конденсатор Керра. Наиболее совершенным модулятором является модулятор Скофони, позволяющий принимать 135 элементов изображения ($1/8$ строки) одновременно.

Негативное изображение — изображение, повернутое по фазе на 180° (электрически); будучи подведено к модулятору, оно воспроизведет темные

места в форме светлых, и наоборот, т. е. даст негатив от истинного изображения. Поворот фазы на 180° можно осуществить добавлением (или уменьшением) одного каскада в усилителе изображений.

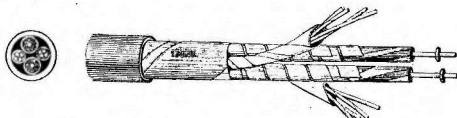


Рис. 16.32. Кабель для полосы частот в 1 000 000 гц.

Оптико-механическая система. Так называется всякая система телевидения, использующая для целей развертки и синтеза оптико-механические устройства (зеркала, диски, зеркальные барабаны и т. д.). Лучшей оптико-механической системой является система Скофони, которая только одна может конкурировать с электронными системами в области высококачественного телевидения.

Полоса частот изображений определяется двумя пределами:

1. Верхний предел — максимальная частота изображения $f_m = \frac{1}{2} z^2 N$,
2. Нижний предел определяется частотой кадров (или полукадров при развертке через строку). Практическая полоса частот в системе с четкостью

в 343 строки простирается от 50 гц до 1,5 мгу. Все каналы системы изображений должны быть рассчитаны на пропускание данной полосы частот.

Полоса частот сигналов синхронизации определяется также двумя пределами:

1. Верхняя граница берется равной 10—20-кратной частоте сигнала.

2. Нижняя граница определяется частотой самого импульса. Полоса частот сигналов синхронизации строк в системе на 343 строки простирается от 8000 (частота импульса 8575 гц) до 200 000 гц. На эту полосу рассчитываются каналы строчной синхронизации. Полоса частот кадровой синхронизации будет, очевидно, простирается от 50 до 1000 гц.

Парирование строк — искажение, характерное для системы развертки через строку; при недостаточно точной подгонке фазы полукадровых сигналов (см. рис. 16. 27) линии раstra на экране приемной трубки начинают группироваться попарно или даже попарно сливаются вместе, сильно снижая при этом четкость изображения (см. суперсинхронизация).

Разделение сигналов. Сигнал, принимаемый телеприемником, имеет очень сложную форму; он содержит три вида сигналов:

1. Сигналы собственно изображения.

2. Сигналы строчной развертки (вместе с сигналами суперсинхронизации).

3. Кадровые сигналы.

На сетку кинескопа поступает вся смесь перечисленных сигналов, причем сигналы синхронизации гасят луч во время обратного хода развертки строк и кадров. Поэтому линии обратных ходов, видимые на немодулированном растре, исчезают сразу, как только сигналы будут поданы на кинескоп.

Из общего канала сигналы синхронизации отбираются для управления генераторами развертки; при этом сигналы изображения отсекаются обычно на загибе характеристики лампы. В дальнейшем строчные и кадровые сигналы разделяются при помощи фильтров, составленных из емкостей и сопротивлений.

Размеры изображений на экране кинескопа регулируются обычно при помощи изменения величины отклоняющих токов в катушках отклоняющей системы кинескопа.

Ретрансляция — способ передачи высококачественного телевидения на далекие расстояния без помощи кабеля и проводов. Для этого строится линия так называемых релейных ультракоротковолновых станций на расстоянии 20—30 км одна от другой. Обычно эти станции работают на более короткой волне в сравнении с волной телевидения. Так, ретрансляция Нью-Йорк — Филадельфия работает на волне около 2 м длины. Аналогичная (но портативная) релейная станция применяется в телепередвижках для передачи уличных сцен на телецентр.

Стандарты. Существуют два стандарта на высококачественное телевидение:

1) английский стандарт предусматривает четкость в 405 строк с разверткой через строку при 25 кадрах (50 полукадров) в секунду и при позитивном излучении в эфир;

2) американский стандарт определяет четкость в 441 строку (также с чересстрочной разверткой) при 30 кадрах (60 полукадрах) в секунду и при негативном излучении в эфир.

Скофони — оптико-механическая система телевидения. На рис. 16. 33 приводится схема действия телеприемника на 405 строк. Свет источника *О* фокусируется щелью и линзой на модулятор *М*. Пройдя через модулятор, линзу, строчный барабан *С* и кадровый барабан *Б*, свет образует на экране *Э* одну горизонтальную строку. Приведя во вращение кадровый барабан *Б*,

мы заставим строку двигаться в вертикальном направлении и перекрыть весь экран. Когда включается модулятор, сигналы изображения модулируют частоту кварца K и передаются налитой в модуляторе жидкости. Звуковые волны бегут в жидкости снизу вверх и модулируют одновременно до 135 элементов изображения (принцип накопления света). Если оставить в покое барабанчик C , то вся картина на экране будет смазана благодаря движению этих волн. Быстро вращаясь, строчный барабан C компенсирует движение волны модулятора и делает картинку на экране $Э$ устойчивой. Число оборотов барабана C составляет (для 405 строк) 30 375 в минуту. Кад-

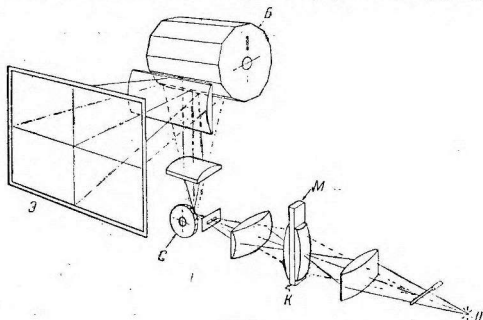


Рис. 16. 33.

ровый барабан вращается с числом оборотов 250, и так как он имеет 12 сторон, то, следовательно, обеспечивает 50 полукадров в секунду при развертке через строку.

Супер-синхронизация — введение в сигналы синхронизации полукадров добавочных импульсов с двойной частотой строк (см. рис. 16. 27). Эти сигналы обеспечивают точность фазировки полукадровых сигналов так, чтобы строки одной половины кадра расположились на экране приемника точно посередине между строками другой половины кадра.

Супер-эмитрон — особо чувствительный иконоскоп, сконструированный с применением принципа вторичного умножения электронов. Дает чувствительность в 20—30 раз выше, нежели стандартный иконоскоп.

Телекинопередатчик — устройство для передачи обычных кинофильмов.

Телепередвижка — устройство (на 2—3 автобусах) для передачи уличных сцен, шествий, спортивных состязаний и т. д. Передает на главную станцию (телецентр) изображения и звуковое сопровождение либо по кабелю, либо через маленькую релейную станцию на ультракоротких волнах.

Частота синхронизации. Для полукадров частота обычно берется равной частоте питающего напряжения сети (США — 60 *гц*, Европа — 50 *гц*). Частота строк выбирается так, чтобы она при помощи гармоник (порядка

не выше 9) могла быть синхронизована с частотой питания. Кроме того, частота строк равна произведению из числа строк на число кадров. Поэтому для числа строк всегда берется такое число, которое распадается на множители не выше 9. Например:

$$343 = 7 \cdot 7 \cdot 7 \quad (f_c = 8\,575)$$

$$405 = 5 \cdot 9 \cdot 9 \quad (f_c = 10\,125)$$

$$441 = 9 \cdot 9 \cdot 9 \quad (f_c = 13\,230, \text{ питание } 60 \text{ гц})$$

Чувствительность телепередатчика определяется чувствительностью иконоскопа или фотоэлемента и выражается в микроамперах на люмен. Практически чаще характеризуют чувствительность в люксах (что является неверным, но более удобным). Стандартный иконоскоп, например, требует для своей работы освещенность порядка 2000 лк.

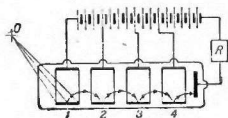


Рис. 16. 34.

Электронный умножитель — прибор, основанный на явлении вторичной электронной эмиссии (рис. 16. 34). Под воздействием источника света O фотокатод 1 выделяет электроны, которые падают на поверхность 2 , откуда выбиваются новые электроны (в увеличенном количестве), направляются на поверхность 3 и т. д. Результирующий электрический ток протекает по сопротивлению R , включенному в цепь последнего электрода.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ И АККУМУЛЯТОРЫ

Таблица 17.1

Формулы для определения электродвижущей силы и силы тока в цепи батарей для различных соединений элементов

	Соединение элементов		
	последовательное	параллельное	смешанное
Электродвижущая сила	nE	E	nE
Сила тока	$\frac{nE}{R + rn}$	$\frac{E}{R + \frac{r}{m}}$	$\frac{nE}{R + \frac{rn}{m}}$

E — э. д. с. отдельного элемента, n — число последовательно соединенных элементов, m — число параллельно соединенных элементов или групп, r — сопротивление отдельного элемента в омах, R — сопротивление внешней цепи, которую питает батарея, в омах.

Шкала плотности и удельный вес

Шкала плотностей Бо́ме в настоящее время отменена.

Для перевода часто встречающихся в учебниках и инструкциях градусов Бо́ме в плотность (удельный вес) необходимо пользоваться табл. 17.2. Перевод градусов Бо́ме в плотность (удельный вес) может быть произведен также по следующим формулам:

для жидкостей легче воды:

$$d = \frac{144,3}{144,3 + B},$$

для жидкостей тяжелее воды:

$$d = \frac{144,3}{144,3 - B}.$$

Здесь d — удельный вес,

B — градусы по ареометру Бо́ме (при $+15^\circ$).

Таблица 17. 2

Уд. вес при 15° Ц	Градусы Боие	Уд. вес при 15° Ц	Градусы Боие	Уд. вес при 15° Ц	Градусы Боие	Уд. вес при 15° Ц	Градусы Боие	Уд. вес при 15° Ц	Градусы Боие
1000	0,0	1171	21,0	1355	37,8	1535	50,3	1725	60,6
1005	0,7	1175	21,4	1360	38,2	1540	50,6	1730	60,9
1010	1,4	1180	22,0	1365	38,6	1545	50,9	1735	61,1
1015	2,1	1185	22,5	1370	39,0	1550	51,2	1740	61,4
1020	2,7	1190	23,0	1375	39,4	1555	51,5	1745	61,6
1025	3,4	1195	23,5	1380	39,8	1560	51,8	1750	61,8
1030	4,1	1200	24,0	1383	40,0	1565	52,1	1755	62,1
1035	4,7	1205	24,5	1385	40,1	1570	52,4	1760	62,3
1040	5,4	1210	25,0	1390	40,5	1575	52,7	1765	62,5
1045	6,0	1215	25,5	1395	40,8	1580	53,0	1770	62,8
1050	6,7	1220	26,0	1400	41,2	1585	53,3	1775	63,0
1055	7,4	1225	26,4	1405	41,6	1590	53,6	1780	63,2
1060	8,0	1230	26,9	1410	42,0	1595	53,9	1785	62,5
1065	8,7	1235	27,4	1415	42,3	1600	54,1	1790	63,7
1070	9,4	1240	27,9	1420	42,7	1605	54,4	1795	64,0
1075	10,0	1245	28,4	1425	43,1	1610	54,7	1800	64,2
1080	10,6	1250	28,8	1430	43,4	1615	55,0	1805	64,4
1085	11,2	1255	29,3	1435	43,8	1620	55,2	1810	64,6
1090	11,9	1260	29,7	1440	44,1	1625	55,5	1815	64,8
1095	12,4	1265	30,2	1445	44,4	1630	55,8	1820	65,0
1100	13,0	1270	30,6	1450	44,8	1635	56,0	1822	65,1
1105	13,6	1275	31,1	1455	45,1	1640	56,3	1824	65,2
1110	14,2	1280	31,5	1460	45,4	1645	56,6	1826	65,3
1115	14,9	1285	32,0	1465	45,8	1650	56,9	1828	65,4
1120	15,4	1290	32,4	1470	46,1	1655	57,1	1831	65,5
1125	16,0	1295	32,8	1475	46,4	1660	57,4	1833	65,6
1130	16,5	1300	33,3	1480	46,8	1665	57,7	1835	65,7
1135	17,1	1305	33,7	1485	47,1	1670	57,9	1838	65,8
1140	17,7	1310	34,2	1490	47,4	1675	58,2	1840	65,9
1143	18,0	1315	34,6	1495	47,8	1680	58,4	1841	66,0
1145	18,3	1320	35,0	1500	48,1	1685	58,7		
1150	18,8	1325	35,4	1505	48,4	1690	58,9		
1152	19,0	1330	35,8	1508	48,5	1695	59,2		
1155	19,3	1333	36,0	1510	48,7	1700	59,5		
1160	19,8	1335	36,2	1515	49,0	1705	59,7		
1163	20,0	1340	36,6	1520	49,4	1710	60,0		
1165	20,3	1345	37,0	1525	49,7	1715	60,2		
1170	20,9	1350	37,4	1530	50,0	1720	60,4		

Примечание. Удельный вес в таблице дан в тысячных долях.

Сравнение свойств щелочных и кислотных аккумуляторов

		Кислотные аккумуляторы	Щелочные аккумуляторы
Коэффициент полезного действия (отдача по энергии)		0,75	0,45
Уменьшение напряжения в течение разряда в %		15	33
Удельная энергия на единицу веса в вт-ч/кг		1—30	25
Удельная энергия на единицу объема в вт-ч/л		85	40
Сила тока короткого замыкания на 1 л объема аккумулятора		1000	30
Саморазряд в течение месяца в %		10—30	2—30
Наивысший допустимый ток нагрузки к нормальному току в %		800	500
		В теч. 15 мин.	В теч. 5 мин.
Продолжительность службы в годах		1—15	15
Ремонт		Частный	Не произв.
Отноше- ние к	перезарядке	Чувстви- тельный	Нечувстви- тельный
	переразрядке		
	продолжительному нахождению в разряженном состоянии		
	сотрясениям	Повышается емкость	Безвозвратно теряется до 50% емкости
	температуре выше 45°		
	температуре ниже 0°	Понижается емкость	Сильно понижается емкость

Таблица для приготовления растворов нужной концентрации
(В процентах по весу)

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,00	1,01	2,04	3,10	4,17	5,26	6,43	7,53	8,70	9,89
10	11,11	12,44	13,63	14,94	16,28	17,65	19,05	20,48	21,95	23,46
20	25,01	26,58	28,20	29,87	31,58	33,33	35,14	36,99	38,90	40,84
30	42,85	44,94	47,05	49,25	51,52	53,85	56,24	58,74	61,29	63,94
40	66,67	69,49	72,41	75,44	78,60	81,81	85,20	88,67	92,30	96,07
50	100,0	104,1	108,3	112,8	117,4	122,2	127,3	132,6	138,10	143,9
60	150,0	156,4	163,2	170,3	177,8	185,7	194,2	203,0	212,5	229,5
70	233,3	244,9	257,6	270,3	284,6	300,0	316,7	334,8	354,6	376,2
80	400,0	426,3	455,5	488,3	525,0	566,6	614,3	669,3	733,3	376,2
90	900,0	1011,0	1150,0	1329,0	1566,0	1900,0	2400,0	3234,0	4900,0	9900,0

Примечание. Для получения раствора концентрации, указанной в процентах по весу, надо взять на каждые 100 см³ воды указанное в соответствующей графе количество граммов вещества, например для 15%-ного раствора—17,65 г.

Таблица данных водных растворов некоторых электролитов

(Значения таблицы относятся к температуре +18° Ц)

Электролит	Концентрация % по весу	Уд. вес	Проводимость 1 см ² в 40	Сопротивление 1 см ² в ом	Температурный коэффициент сопротивления
Хлористый аммоний (нашатырь) <chem>NH4Cl</chem>	5	1,0142	0,0918	10,88	0,0198
	10	1,0289	0,1776	5,63	0,0186
	15	1,0430	0,2586	3,87	0,0171
	20	1,0571	0,3365	2,98	0,0161
	25	1,0710	0,4025	2,49	0,0154
Хлористый цинк <chem>ZnCl2</chem>	2,5	1,024	0,0276	36,3	0,0213
	5	1,048	0,0483	20,7	0,0192
	10	1,094	0,0727	13,76	0,0165
	20	1,190	0,0912	10,97	0,0156
	30	1,299	0,0926	10,69	0,0172
	40	1,423	0,0845	11,83	0,0198
Хлорная ртуть (сулема) <chem>HgCl2</chem>	0,229	1,0008	0,0044	228,00	0,044
	1,013	1,0073	0,0114	87,70	0,372
	5,08	1,0445	0,0421	23,80	0,249
Сернокислый магний (английская соль) <chem>MgSO4</chem>	5	1,0510	0,0263	38,0	0,0226
	10	1,1052	0,0414	24,2	0,0241
	15	1,1602	0,0480	20,8	0,0252
	25	1,2861	0,0415	24,1	0,0288
Сернокислый цинк (цинков. купорос) <chem>ZnSO4</chem>	5	1,0509	0,0191	52,4	0,0225
	10	1,1069	0,0321	31,2	0,0223
	15	1,1675	0,0415	24,1	0,0228
	25	1,3045	0,0480	20,8	0,0258
Сернокислая медь (медный купорос) <chem>CuSO4</chem>	2,5	1,0246	0,0109	91,8	0,0213
	5	1,0513	0,0189	52,9	0,0216
	10	1,1073	0,0320	31,3	0,0218
	15	1,1675	0,0421	23,8	0,0231

(Продолжение табл. 17.3)

Электродлит	Концентрация %, по весу	Уд. вес	Проводимость 1 см ² в мк	Сопротивление 1 см ² в ом	Температурный коэффициент сопротивления
Соляная кислота HCl	5	1,0242	0,3948	2,53	0,0158
	10	1,0940	0,6302	1,586	0,0156
	20	1,1001	0,7615	1,314	0,0154
	30	1,1524	0,6620	1,512	0,0152
	40	1,2007	0,5152	1,943	0,0150
Азотная кислота HNO ₃	1,30	1,01	0,0703	14,23	—
	5,99	1,03	0,2914	3,44	—
	10,13	1,06	0,4531	2,21	—
	20,11	1,12	0,7055	1,48	—
	30,42	1,19	0,7773	1,287	—
	45,01	1,28	0,6929	1,443	—
	65,77	1,40	0,4495	2,225	—
	84,08	1,47	0,1264	7,91	—
Серная кислота H ₂ SO ₄	96,12	1,50	0,1530	6,54	—
	5	1,0331	0,2085	4,80	0,0121
	10	1,0673	0,3915	2,56	0,0128
	20	1,1414	0,6527	1,533	0,0145
	30	1,2207	0,7388	1,354	0,0162
	40	1,3056	0,6800	1,472	0,0178
	60	1,5019	0,3726	2,69	0,0213
	80	1,7320	0,1105	9,05	0,0349
	90	1,8167	0,1075	9,30	0,0320
Едкий натр NaOH	99,08	1,8359	0,0361	27,7	0,0280
	2,5	1,0280	0,1087	9,21	0,0194
	5	1,0568	0,1969	5,08	0,0201
	10	1,1131	0,3124	3,20	0,0217
	20	1,2262	0,3270	3,06	0,0299
	30	1,3374	0,2022	4,95	0,0450
Едкое кали KOH	40	1,4421	0,1164	8,59	0,0648
	4,2	1,0382	0,1464	6,83	0,0187
	8,4	1,0776	0,2723	3,67	0,0186
	16,8	1,1588	0,4558	2,20	0,0193
	25,2	1,2439	0,5403	1,84	0,0209
	42,0	1,4298	0,4212	2,37	0,0283

Таблица 17.6

Типы, габариты и вес кислотных аккумуляторов накала

Типы	Номиналь- ная емкость а-ч	Габаритные размеры батарей в мм			Вес с электроли- том кг
		длина l	ширина b	высота h	
2Н10-II OCT 5008	20	115 ± 3	118 ± 3	188 ± 3	$6,1 \pm 0,2$
2Н10-IV OCT 5008	40	186 ± 3	120 ± 3	188 ± 3	$10,2 \pm 0,3$
2Н10-VI OCT 5008	60	278 ± 3	160 ± 3	200 ± 3	$16,0 \pm 0,5$

Таблица 17.7

Электрические характеристики кислотных аккумуляторов накала

Типы	Макс. сила зарядного тока, а-ч	Сила разрядного тока и емкость при 10-часовом режиме разряда		Напряжение на зажимах батарей в конце заряда в	Напряжение на зажимах батарей в конце разряда в
		сила тока а	емкость а-ч		
2Н10-II OCT 5008	2	2	20	$5,3 \pm 0,3$	Не менее 3,6
2Н10-IV OCT 5008	4	4	40	$5,3 \pm 0,3$	
2Н10-VI OCT 5008	6	6	60	$5,3 \pm 0,3$	

Примечание. В обозначении типа цифра впереди (2) определяет число элементов батарей; римская цифра в конце (II, IV, VI) определяет число положительных пластин в элементе; обозначение Н10 определяет тип пластин, причем Н указывает назначение батарей (для накала), а цифры 10—емкость в а-ч одной положительной пластины при нормальном разряде.

Таблица 17.8

Таблица кислотных аккумуляторов и первичных элементов, принятых как стандарт в Наркомсвязи

Тип	Раб. напряжение в в	Емкость в а-ч	Макс. сила тока при заряде в а	Макс. сила тока при разряде в а	Наружн. размеры с ручками и клеммами в мм			Вес с кислотой в кг	Аккумулятор, нис-лота 25° Боле в а
					длина	ширина	высота		
Аккумуляторы для накала									
2ц ВII	4	20,0	2,0	2,0	115	200	220	8,0	0,5
2ц ВIV	4	40,0	4,0	4,0	175	200	220	10,0	0,8
3ц ВIV	6	40,0	4,0	4,0	235	200	220	13,5	1,2
2ц ВVI	4	60,0	6,0	6,0	249	200	222	13,5	1,4
3ц ВVI	6	60,0	6,0	6,0	298	172	222	22,5	2,1
2ц ВVIII	4	80,0	8,0	8,0	314	200	222	18,0	1,8
3ц ВVIII	6	80,0	8,0	8,0	400	180	225	25,5	2,8
3 ст. IX	6	140,0	10,0	7,0	410	200	145	30,0	3,0
Аккумуляторы для питания анодов									
20PГI	40,0	2,5	0,25	0,1	365	185	140	8,2	0,8
40PГI	80,0	2,5	0,25	0,1	633	185	140	14,8	1,6
10PГII	20,0	5,0	5,0	0,2	435	175	152	10,0	0,8
Первичные элементы									
KB	1,4	35,0	—	0,3	70	70	160	—	—
KC	1,4	42,0	—	0,3	70	70	160	—	—
4B	1,4	35,0	—	0,3	40	80	175	—	—
4C	1,4	42,0	—	0,3	40	80	175	—	—
3B	1,4	20,0	—	0,1	55	55	125	—	—
3C	1,4	23,0	—	0,1	55	55	125	—	—
2B	1,4	5,0	—	0,075	40	40	90	—	—
2C	1,4	6,0	—	0,075	40	40	90	—	—
1B	1,4	2,5	—	0,05	32	32	70	—	—
1C	1,4	3,0	—	0,05	32	32	70	—	—
«Геркулес» (мокрый)	1,4	60,0	—	0,3	—	—	—	—	—
Анодные батареи									
80Б-1 сухая	80,0	0,3	—	0,01	—	—	—	—	—
80Б-3 мокрая	80,0	0,9	—	0,01	—	—	—	—	—

Примечание к табл. 17.9. В обозначении элемента буква «С» обозначает «сухой», «В» — «водоналивной». Емкость всех элементов накала принята при разряде до напряжения 0,7в на сопротивление 10 ом согласно ОСТ 378. В действительности они этой емкости не дают.

Элементы и батареи типа Лекланше производства

Характери- стика	Номенклатура		Э.д.с.	Режим испытания на сопрот. R до напряж. e	Напряжение на зажимах при включении на сопро- тивление R		Емкость
	старая	новая			в в	в а-ч	
Элементы сухие	Ордонанс	№ 4С	1,45	10 ом, 0,7 в	1,40	42	
	НТ	№ 3С	1,45	То же	1,40	23	
	СО	№ 2С	1,45	»	1,36	6	
	—	№ 1С	1,45	»	1,36	3	
Элементы водоналивные	Ордонанс	№ 4В	1,45	»	1,40	35	
	НТ	№ 3В	1,45	»	1,40	20	
	СО	№ 2В	1,45	»	1,36	5	
	УТВ	УТВ	1,45	»	1,36	3,5	
	—	№ 1В	1,45	»	1,36	2,5	
Батареи сухие	—	КБС	4,35	10 ом, 2 в	3,65	0,23	
	Маркони 80	Б-80-1С	87	7000 ом, 60 в	84	0,36	
	Маркони 45	Б-45-1С	45	3730 ом, 32 в	42	0,36	
	Мосэл № 2	Б-80-2С	80	$I=0,02 \text{ а},$ $e=63 \text{ в}$	78	1,25	
	Наливные анодные	Б-80-3	87	$I=0,03 \text{ а},$ $e=59 \text{ в}$		1,25	
				7000 ом, 60 в	84	0,9	

Таблица 17.9

БАК (Всесоюзного аккумуляторного треста)

Внутреннее сопротивление		Наибольш. сила разрядн. тока при непрер. раб.	Сохранность после года хранения	Размеры	Высота с зажимом	Номенклатура (новая)
в начале	в конце					
в ом	в ом	в ам		в мм	в мм	
Около 0,5	Около 1,7—3	300	30%	40×80×175	190	№ 4С
0,5	1,7—3	250	40%	55×55×125	133	№ 3С
0,6	1,8—5	150	50%	40×40×90	100	№ 2С
0,6	1,8—5	100	60%	32×32×75	85	№ 1С
0,6	1,4—3	300	50%	40×80×175	190	№ 4В
0,6	1,4—5	250	60%	55×55×125	133	№ 3В
0,7	1,5—5	150	70%	40×40×90	100	№ 2В
0,7	1,5—5	100	80%	35×35×90	100	УТБ
0,7	3,5—5	100	80%	32×32×75	85	№ 1В
1,8	3,5	400	3—5 мес.	21×62×65	70	КБС
80	250—350	10—15	2—4 »	135×215×75	90	Б-80-1С
42	130—180	10—15	2—4 »	178× 92×75	90	Б-45-1С
$\frac{45}{32}$	$\frac{75-200}{90-250}$	100	8 »	315×210×95	110	Б-80-2С
50	200—300	30—50	6—9 »	255×410×85	100	Б-80-3

Элементы накала воздушной деполяризации завода «Мосэлемент»

Тип	Начальн. напряже- ние в в	Рабочее напряже- ние в в	Емкость в а-ч	Размеры в мм		
				длина	ширина	высота
ЭВД-400	1,3	1,0—0,9	400	—	150 (диам.)	260
КС-ВД ВЭИ	1,3	1,0—0,9	120	70	70	165

Таблица 17. 11

Кислотные аккумуляторы типа ЦВ

(Отдельные банки в эбонитовых сосудах)

Тип	Емкость в а-ч при разряде		Макс. сила тока при разряде и разряде в а	Наружные размеры без зажимов в мм			Вес с кислотой в кг	Аккумуляторы, кислота 25% Воме, уд. вес 1,21 в а
	0,5 а	в 10 час.		длина	ширина	высота		
ЦВII	24	20	2	136	35	168	2	0,25
ЦВIV	48	40	4	136	60	168	4	0,40
ЦВVI	72	60	6	136	86	168	6	0,70
ЦВVIII	96	80	8	138	138	168	8	0,92

Данные кислотных аккумуляторов типов ПО-22-1 и И

639

Переносные аккумуляторы разных назначений

Тип	Рабочее напряжение	Емкость при 10-часовом разряде в а-ч	Макс. сила тока в а (средняя)		Аккумуляторная кислота		Область применения
			при заряде	при разряде	уд. вес	количество	
АГ-III	2	20	1,5	2	1,12	0,057	Авиационный тип Взамен первичных элементов, особенно для сигнальных устройств
6-АГ-III	12	20	1,5	2	1,12	1,0	
6-АГ-V	12	30	3	3	1,12	1,27	
«Атоммет»	2	40	0,5	0,04	1,21	0,48	
Ца-II	2	27	3	2,7	1,21	0,55	В сигнальных установках и вообще во всех случаях, когда требуется прерывный разряд слабыми токами
Ца-III	2	40	4,5	4,0	1,21	0,80	
3-Ца-II	6	27	3	2,7	1,21	1,65	
6-Ца-II	12	27	3	2,7	1,21	3,30	
3-Ца-III	6	40	4,5	4,0	1,21	2,40	
6-Ца-III	12	40	4,5	4,0	1,21	4,80	
Ф-II	2	7,5*	0,5	0,55	1,12	0,8	Домашняя сигнализация и все случаи непрерывного планового разряда
ГО-22-I-II	2	12,5	4	4	1,18	1,2	Для лабораторий и телеграфных линий при необходимости разряда достаточно сильным током
ГО-22-II-II	2	25	8	8	1,18	1,9	
ГО-22-III-II	2	37,5	12	12	1,18	1,25	
ГО-22-IV-II	2	50	16	16	1,18	1,6	
ГО-50-III	2	108	30	40,8	1,18	3,5	Для электрического освещения поездов
ГО-50-IV	2	144	40	44,4	1,18	4,5	
ГО-50-VI	2	216	60	21,6	1,18	7,0	
ГО-50-X	2	360	100	36	1,18	19,0	
ГО-39-II	2	42**	14	14	1,23	1,4	Для электроотележек
ГО-39-III	2	63	21	21	1,23	2,2	
40-ГО-39-II	80	42	14	14	1,23	56,0	
39-ГО-39-II	78	63	21	21	1,23	85,8	

Примечание. Отметенное авиационной относится к 20-часовому разряду, двумя звездочками — к 5-часовому разряду.

Таблица 17.14

Таблица щелочных аккумуляторных элементов

Тип	Рабочее напряжение в в	Емкость (8-час. режим) в а-ч	Нормальный разрядный ток в а	Нормальный зарядный ток в а	Размеры в мм				Вес одного элемента с электролитом в кг	Объем электролита в одном элементе в л
					длина	ширина	высота			
							без борн	борн		
СИ-0,2	1,2	2	0,25	0,5	20	45	120	10	0,23	0,03
СИ-0,4	1,2	4	0,50	1,0	29	80	105	14	0,45	0,1
СИ-0,8	1,2	8	1,0	2,0	29	80	150	14	0,72	0,15
СИ-1	1,2	10	1,25	2,5	29	80	150	14	0,75	0,1
СИ-1,5	1,2	15	1,88	3,7	41	80	150	14	0,90	0,175
СИ-2	1,2	22	2,75	5,5	29	105	200	14	1,35	0,25
СИ-3	1,2	34	4,25	8,0	41	105	200	14	1,80	0,325
СИ-4	1,2	45	5,65	11	52	105	200	14	2,30	0,4
СИ-6	1,2	60	7,5	16	41	128	330	19	3,90	0,675
СИ-8	1,2	80	10,0	22	52	128	330	19	4,75	0,825
СИ-10	1,2	100	12,5	27	64	128	330	19	5,55	1,0

Таблица 17.15

Таблица щелочных аккумуляторов накала

Тип батарей	Рабочее напряжение в в	Емкость при 8-час. разряде в а-ч	Наружн. разм. бат. в мм			Вес батареи с электролитом в кг	Примечание
			длина	ширина	высота		
17-СИ-1,5	21,25	15	543	233	202	23,6	В приведенных условных обозначениях типа батарей первая цифра указывает количество последовательно соединенных аккумуляторов в батарее; знак «СИ» указывает тип аккумулятора; последняя цифра выражает емкость аккумулятора в долях от нормальной, принятой равной 10 а-ч в среднем.
4-СИ-2	5	22	201	137	241	6,1	
5-СИ-2	6,25	22	245	137	241	7,5	
17-СИ-2	21,25	22	435	283	252	29,8	
5-СИ-3	6,25	34	319	147	252	12,6	
10-СИ-3	12,5	34	599	147	252	19,7	
5-СИ-4	6,25	45	374	147	252	15,1	
6-СИ-4М	7,5	45	441	147	252	17,9	
7-СИ-4	8,75	45	508	147	252	20,8	
10-СИ-4	12,5	45	709	147	252	29,0	
4-СИ-6М	5	60	263	170	386	18,6	
5-СИ-6	6,25	60	319	170	386	24,8	
10-СИ-6М	12,5	60	599	170	386	47,6	

· Кислотные двухбаночные аккумуляторы накала для радиоустановок по ОСТ 5008 имеют следующие данные.

Номинальная емкость (нормальный 10-часовой разряд при средней температуре электролита в 25° и при плотности электролита в 28° Вё) должна равняться 20, 40 или 60 а-ч.

Номинальное напряжение для всех трех типов 4 в, что представляет наименьшее допустимое значение напряжения, соответствующее нормальному 10-часовому режиму разряда в течение первого часа.

Стеклянные сосуды батарей емкостью в 60 а-ч должны быть заключены в деревянные ящики-решетки без крышек.

ПРОСТЕЙШИЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ПО СИСТЕМЕ

По своей системе приборы разделяются на следующие категории:

1. *Магнитоэлектрические* — с постоянными магнитами и вращающейся катушкой; часто называются еще и приборами типа Депре (Д'Арсонваля). Это наиболее распространенный тип приборов для измерений на постоянном токе, состоящих из неподвижного магнита и одной или нескольких подвижных катушек, отклоняющихся под действием проходящего по ним тока. Под действием переменного тока эти приборы не отклоняются (прожат только стрелки у нулевого положения). Шкала равномерная.

В последнее время этот тип приборов в комбинации с купроновым выпрямителем применяется для измерений токов и напряжений переменного тока.

2. *Электромагнитные* (с подвижным железом) состоят из одной или нескольких неподвижных катушек и одной или нескольких железных частей, изменяющих свое положение под действием проходящего по катушкам тока.

Приборы отклоняются как при постоянном токе, так и при переменном. При допустимой погрешности в 2% этот тип прибора одной шкалой может обслужить измерения и постоянного и переменного токов. При частотах выше 50 гц градуировку прибора необходимо производить отдельно для каждой рабочей частоты. Шкала сжата вначале.

3. *Электродинамические* — состоят из нескольких катушек, одни из которых укреплены неподвижно, а другие отклоняются под действием токов, проходящих по неподвижным и подвижным катушкам. Прибор показывает и постоянный и переменный токи. Приборы этого типа часто имеют магнитную цепь из железа для увеличения вращающего момента прибора. Главнейший недостаток приборов этого типа — чрезмерная зависимость от влияния внешних постоянных и переменных полей. Очень часто приборы заключаются в железный магнитный экран. Электродинамические приборы, проградуированные на постоянном токе, показывают (при той же шкале) действующие значения переменного тока с той же точностью, если частота не превышает 100 гц.

Шкала обычно сильно сжата у начала, так что отсчеты можно производить лишь от 15 до 20% наибольшего показания (есть типы электродинамических приборов, у которых шкала почти равномерная).

4. *Индукционные* — состоят из комбинаций нескольких неподвижных катушек, соединенных магнитной цепью из железа и создающих вращающееся или бегущее магнитное поле, которое и вызывает отклонение подвижной части прибора. Приборы этого типа дают недостаточно точные и сильно зависящие от частоты показания.

5. *Тепловые* — состоят из металлической нити, удлинение которой от нагревания проходящим током вызывает отклонение подвижной части прибора. Главное преимущество тепловых приборов — малая зависимость от частоты тока. Специальные конструкции нитей позволяют применять тепловые приборы при радиочастотах, например измерять антенный ток и пр. Главнейшие недостатки тепловых приборов: не допускают перегрузок, при предварительном разогреве требуют дополнительной установки на нуль, дают шкалу, начинающуюся только при токе в 15—20% от максимального значения (при полной шкале).

6. *Термоприборы (термоэлектрические приборы)* — состоят из одной или нескольких термопар. Термопары подогреваются током, пропорциональным либо измеряемому току (амперметры), либо измеряемому напряжению (вольтметры), и дают постоянный ток в магнитоэлектрический прибор (милливольтметр), заключенный с термопарами в общий кожух. Термоприборы в настоящее время вытесняют тепловые, так как дают более точные показания, мало зависят от теплового режима (термопара часто заключается в вакуум), дают большую чувствительность. В настоящее время термоприборы — основной индикатор токов радиочастоты. Начальные отклонения стрелки, так же как и в тепловых приборах, соответствуют токам в 20—25% от максимального тока прибора.

7. *Электростатические* — обычно вольтметры на большие напряжения, состоящие из неподвижных и подвижных электризуемых проводников или пластин, взаимодействие которых вызывает отклонение подвижной части прибора.

Приборы электростатического типа сравнительно мало точные (погрешность до 2—5% от наибольшего показания). При последовательном включении через один или несколько конденсаторов могут использоваться для измерения высоких напряжений порядка многих тысяч вольт. Наиболее чувствительные приборы (прецизионные лабораторные) этого типа имеют максимальное отклонение в 150 в при минимально отсчитываемом напряжении в 10 в. Эти приборы обычно сильно зависят от влажности воздуха и внешних электростатических полей.

8. *Электронные*, главным образом *ламповые вольтметры*, — основные преимущества: почти не зависят от частоты, имеют чрезвычайно высокое входное сопротивление (в зависимости от схемы и частоты могут иметь до нескольких мегомов) и применяются для измерений рабочих режимов схем, в которых малейшая дополнительная нагрузка может нарушить весь режим работы. Ламповые (называются еще и *катодными*) вольтметры часто применяются для исследования коэффициентов усиления и различных напряжений работающего усилителя или приемника. Главные недостатки: громоздкость, необходимость дополнительных источников питания, необходимость включения в конструкцию дополнительных усилительных каскадов для измерения небольших (меньших 1 в) напряжений. Шкалы в зависимости от схемы могут приближаться к равномерным (в основном квадратичные).

9. *Купроновые* — представляют собой выпрямитель (составленный из небольших выпрямительных пар из медных окислированных пластинок), работающий на магнитоэлектрический прибор. Обычно применяется выпрямительная схема Греча с четырьмя выпрямительными элементами. Весь выпрямитель занимает очень мало места и монтируется внутри кожуха любого магнитоэлектрического прибора. Прибор дает достаточно точные измерения на частотах всего звукового диапазона. В зависимости от прибора можно иметь полное отклонение стрелки при переменном токе всего лишь в 1 ма и даже меньше. Шкала, начиная с 15—20%, получается почти равномерной.

10. *Вибрационные* — имеющие в своем устройстве части, частота которых равна или может быть сделана равной частоте измеряемой величины переменного тока, и дающие возможность производить измерение благодаря резонансу частоты колеблющейся части с частотой измеряемой величины.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

Электротехнические измерительные приборы, применяющиеся для непосредственного измерения различных электрических величин, подразделяются на следующие группы в зависимости от рода измеряемой величины (табл. 18. 1).

Таблица 18. 1

№ по пор.	Род измеряемой прибором величины	Название прибора	Условное обозначение
1	Ток	Амперметр Миллиамперметр Гальванометр	A mA G
2	Напряжение	Вольтметр Киловольтметр Милливольтметр Гальванометр	V kV mV G
3	Электрическая мощность	Ваттметр Киловаттметр	W kW
4	Электрическая энергия	Счетчик ватт-часов » гектоватт-часов » киловатт-часов	Wh hWh kWh
5	Количество электричества	» ампер-часов	Ah
6	Сдвиг фаз	Фазометр	φ
7	Частота	Частотомер	f
8	Электрическое сопротивление	Омметр Мегомметр (метгер)	Ω MΩ

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ПО ТОЧНОСТИ

Точность измерительного прибора численно характеризуется величиной его погрешности, которая обычно выражается в процентах от номинального значения измеряемой величины, т. е. от полного значения шкалы. Реже пользуются выражением точности в процентах от показания прибора.

Погрешность показаний положительна, если показание прибора больше действительного значения измеряемой величины, и отрицательна, если показание меньше. Если, например, погрешность показания прецизионного прибора составляет 0,2% от конечного значения предела измерения, то при шкале в 100 делений погрешность показания соответствует $\pm 0,2$ деления и является постоянной по всему пределу измерения.

Пределы погрешностей, приведенные в табл. 18.2, действительны для температуры помещения 20°C в предположении, что не имеется никаких влияний от посторонних магнитных полей.

Таблица 18.2

Допустимая погрешность в % от полного значения шкалы

Наименование приборов	I класс		II класс	III класс
	подкласс Л $\pm$	подкласс К $\pm$	Т $\pm$	У $\pm$
Вольтметры магнитоэлектрические	0,2	0,3	1,0	2,0
Вольтметры других систем	0,3	0,5	2,0	4,0
Амперметры магнитоэлектрические	0,2	0,3	1,0	2,0
Амперметры других систем	0,4	0,6	2,0	4,0
Ваттметры	0,3	0,5	2,0	—
Частотомер	—	—	1	2
Фазометр	—	—	2	4

При учете погрешности измерения погрешности показаний должны определяться в процентах от действительного значения показания. Если погрешность показания, как мы приняли раньше, составляет 0,2% от конечного значения предела измерения, то погрешность в процентах от действительного значения показания при полном отклонении стрелки равна 0,2%, при половинном отклонении — 0,4% и при отклонении на $\frac{1}{10}$ шкалы — даже 2%. Отклонения в процентах от действительных значений будут тем больше, чем меньше отклонения стрелки. Вследствие этого необходимо при измерениях подбирать приборы так, чтобы отклонения стрелки были достаточно большими, т. е. не пользоваться градуировкой в начале шкалы.

Нормами, существующими в СССР, электрические приборы по степени точности делятся на три класса, причем I класс делится на два подкласса.

Приборы I класса, подкласса *a*, называются лабораторными или образцовыми и обозначаются знаком Л. Будучи выверены путем сравнения с эталонами, они применяются для точных лабораторных измерений.

Приборы I класса, подкласса *b*, называются контрольными и обозначаются знаком К. Они приспособлены для перевозки и переноски. Применяются для испытательных работ на местах электрических установок, а также в других случаях, где требуется несколько меньшая точность, но большие прочность и надежность.

Приборы II класса называются техническими и обозначаются знаком Т. Они применяются, главным образом, на распределительных щитах.

Приборы III класса называются приборами-указателями и обозначаются знаком У. Они применяются в качестве ориентировочных приборов в тех случаях, где требуется низкая точность.

Влияние уравнивания. В приборах всех классов, не снабженных уровнями, не снабженных указанием на шкале относительно нормального положения, подвижные части должны быть уравновешены так, чтобы при отклонении шкалы прибора на 5° от нормального положения изменение показания прибора не превосходило следующих величин:

для приборов	I класса		0,2%	от длины шкалы
»	»	II	»	 1% » » »
»	»	III	»	 2% » » »

Отклонение стрелки от нуля при повороте прибора из горизонтального положения в вертикальное не должно превышать для I класса 0,2%, для II—1%, для III—2%.

Технические электроизмерительные приборы различных систем (при современном состоянии техники их изготовления) характеризуются в среднем данными, приведенными в табл. 18. 3—18. 5.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИБОРОВ

Под чувствительностью прибора подразумевается чувствительность движения стрелки.

Положим, измерительный прибор обладает достаточной чувствительностью, так что изменение измеряемой величины в 0,1% вызывает заметное изменение положения стрелки на шкале, и в то же время этот прибор вследствие недостаточно тщательной регулировки обладает точностью в 2%, т. е. показание прибора в любой части шкалы может иметь погрешность в 2% от полного значения шкалы. Эта погрешность может быть определена путем сравнения его показаний с показаниями другого прибора, обладающего более высокой точностью. Про такой прибор можно сказать, что он обладает чувствительностью в 0,1% и точностью в 2%.

Положим, второй прибор обладает чувствительностью в 0,2% и точностью в 1%. Этот прибор вдвое менее чувствителен и вдвое более точен по сравнению с первым прибором.

Допустимые увеличения погрешностей

Род приборов	Увеличение погрешности в % от соответствующего показания при изменении температуры на $\pm 10^\circ\text{C}$		
	I класс %	II класс %	III класс %
Для амперметров	0,5	2	3
» вольтметров	0,3	2	3
» ваттметров	0,3	2	—

Таблица 18.4

Допустимые увеличения погрешностей при изменении частоты

Тип	При изменении частоты в % от номинальной	Увеличение погрешности в % от соответствующего показания
Для приборов I класса	20	0,3
» » II »	5	1,2
» » III »	5	2,5

Таблица 18.5

Система	Вес подвижной системы в г	Вращающий момент в $\text{г} \cdot \text{см}$
Тепловые	0,4	0,04
Электромагнитные	1,5	0,20
Магнитоэлектрические	2,0	0,30
Электродинамические	5,0	0,50
Индукционные	12,0	2,5

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИБОРАМИ

Для действия приборов всех систем, за исключением электростатических приборов и ламповых вольтметров, от измеряемой цепи неизбежно расхо-

дуются электрическая энергия. При измерении малых величин собственное потребление энергии прибором может оказаться соизмеримым с измеряемой величиной, и тогда во избежание ошибок необходимо учитывать с требуемой точностью расходуемую в приборе энергию. Поэтому малый собственный расход является мерилом достоинства приборов. Однако уменьшать этот расход энергии за счет ослабления пружин и прочего нельзя, так как это вызывает ухудшение качества прибора в смысле быстроты успокоения стрелки, точности и чувствительности установления стрелки всегда на одно и то же показание (при постоянстве измеряемой величины) и пр.

Таблица 18.6

Род приборов	Расход энергии в ет					
	магнито- электриче- ские	электроли- намические	электромаг- нитные	тепловые	индукцион- ные	микропро- вые
Амперметры на 5—10 а Вольтметры 100—250 в	0,5 0,2—2	5—15 5—15	3—10 2—10	3—8 5—20	1—2 1—2	— 0,02—2
Милливольтметры Микроамперметры Гальванометры	От 0,001 до 0,000001	— —	— —	— —	— —	— —

ШУНТЫ К АМПЕРМЕТРАМ И ГАЛЬВАНОМЕТРАМ

Для решения всех вопросов, связанных с возможностью использования того или иного прибора в различных комбинациях измерения токов и напряжений, необходимо прежде всего знать следующие основные характеристики прибора:

- напряжение, потребное для отклонения стрелки на полную шкалу;
- ток, потребляемый прибором при отклонении стрелки на полную шкалу;
- сопротивление прибора (при заданной частоте).

Эти три основные величины связаны между собой основным уравнением закона Ома:

$$R_{\text{прибора}} = \frac{U_{\text{на зажимах прибора}}}{I_{\text{через прибор}}};$$

поэтому достаточно определить только две любые, а третья может быть просто вычислена по данному закону. Эти величины всегда требуется знать для основной части прибора, т. е. подвижной рамки или катушек, образующих рабочее магнитное поле. Шунты или дополнительные сопротивления в эти величины входить не должны, за исключением небольших дополнительных сопротивлений, включаемых только для выравнивания температурных коэффициентов или успокоения колебания стрелки. Знание этих трех основных величин и определяет возможность использования прибора в тех или иных условиях или, наоборот, невозможность применения.

Пример. Рамка прибора требует для полного отклонения 6 в (любительский вольтмиллиамперметр); без переделки прибора это напряжение уменьшено быть не может, поэтому в цепях низких напряжений сделать из этого прибора амперметр (посредством внешних шунтов) нельзя.

Основные условия переделки приборов на другие показания:

Каждый вольтметр является амперметром, причем силу проходящего через него тока желательно иметь как можно меньше.

Каждый амперметр является вольтметром, причем падение напряжения на его зажимах желательно иметь как можно меньше.

Шунты (параллельные сопротивления) могут только увеличить до любого предела величину проходящего через систему тока. Ток, проходящий через прибор, остается неизменным. Падение напряжения на зажимах прибора и шунтов остается такое же, какое прибор имел до переделки на другие показания.

Добавочные сопротивления не изменяют потребляемого прибором тока, а могут только создать дополнительное поглощение напряжения вне самого прибора.

Шунты и добавочные сопротивления вызывают дополнительные расходы энергии.

Пригодность прибора как вольтметра решается в зависимости от того, не превышает ли падение напряжения на самом приборе (рамке или катушках) минимальной требуемой величины напряжений.

Пригодность прибора в роли амперметра решается в зависимости от того, не превышает ли ток, отклоняющий стрелку на полную шкалу, минимальной заданной силы тока.

В этих обоих случаях пригодность прибора дополнительно решается еще расходом энергии, которую будет потреблять прибор с шунтами или добавочными сопротивлениями. Допускаемый расход энергии зависит от мощности, циркулирующей в измеряемой схеме. Например, вольтметр, берущий на себя хотя бы несколько ампер, был бы допустим для измерения напряжения большой невысоковольтной динамомашини, а вольтметр с ничтожным током в 0,001 а уже совершенно непригоден для промера напряжения на сетках усилительных ламп, имеющих гридличную схему включения.

РАСЧЕТ ШУНТА

Обозначим:

I_0 — ток через прибор (рамку) при полном отклонении стрелки,

R_0 — сопротивление прибора (рамки),

I — требуемый при полном отклонении стрелки ток через установку (прибор с шунтом),

R — сопротивление установки (прибора с шунтом),

$I_{ш}$ — ток через шунт,

$R_{ш}$ — сопротивление шунта,

U_0 — падение напряжения на приборе (рамке, катушках).

Величину сопротивления необходимого шунта находим из уравнения

$$R_{ш} = \frac{R_0}{\frac{I}{I_0} - 1};$$

это и представляет основную формулу для расчета шунта.

Дополнительные зависимости между величинами, входящими в установку:

$$I = I_0 + I_{\text{ш}};$$

$$U_0 = I_0 \cdot R_0;$$

$$I_{\text{ш}} = I - I_0 = \frac{I_0 \cdot R_0}{R_{\text{ш}}};$$

$$I_0 \cdot R_0 = I_{\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}} = I \cdot R;$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{R_0}{R_{\text{ш}}} + 1 = \frac{R_{\text{ш}} + R_0}{R_{\text{ш}}} = \frac{I_0 + I_{\text{ш}}}{I_0}.$$

Шунты часто изготавливаются под отметкой $1/9$, $1/99$ и т. д., что означает увеличение тока в 10, 100 раз и т. д.

Расход энергии в приборе: $I_0^2 \cdot R_0$;

» » » шунте: $\frac{I_0^2 \cdot R_0^2}{R_{\text{ш}}}$

$$\frac{\text{Расход энергии в шунте}}{\text{Расход энергии в приборе}} = \frac{R_0}{R_{\text{ш}}} = \frac{I}{I_0} - 1.$$

Кроме основных единиц (ом, ампер), в формулах, включающих отношение величин, можно пользоваться любыми производными единицами при условии, что все величины в формулах будут выражены в одинаковых единицах (миллиамперах, тысячах омов и пр.).

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ШУНТ

Схема этого «универсального шунта», изображенная на рис. 18. 1, применяется или в целях упрощения переключений амперметров на различ-

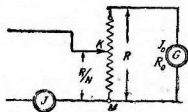


Рис. 18.1.

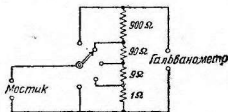


Рис. 18.2.

ные шкалы, или при работе с гальванометрами для увеличения показаний шкалы. Главная особенность этого типа шунта в том, что его свойство увеличивать ток в общей цепи при различных положениях переключателя совершенно не зависит от сопротивления гальванометра.

Ток I в общей цепи рис. 18.1 определяется через ток гальванометра по формуле:

$$I = I_0 \cdot \frac{R_0 + R}{R} \cdot N,$$

где N — отношение сопротивления всего шунта к его части, включенной между точками K и M . Если это отношение N выбрать кратным целым числам или, еще лучше, степеням 10, то получается установка, весьма облегчающая работу и подсчеты. Особенно удобен этот шунт при работе в мостах или в схемах с компенсирующими токами. На рис. 18.2 даны схемы и значения сопротивлений универсального шунта общим сопротивлением в 1000 ом, дающего возможность при любом гальванометре иметь в общей цепи шкалы токов, находящиеся в отношениях:

$$0,001 : 0,01 : 0,1 : 1.$$

Недостатком такого универсального шунта является, конечно, изменяющаяся величина падения напряжения установки. Кроме того, чрезмерное падение напряжения может сильно ограничивать использование этой схемы при амперметрах. Для того чтобы универсальный шунт заметно не понизил чувствительности гальванометра, полное сопротивление шунта R должно быть раз в 10 больше сопротивления гальванометра R_0 .

ДОБАВОЧНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ К ВОЛЬТМЕТРАМ

Обозначим:

U_0 — напряжение прибора (рамки), создающее полное отклонение стрелки,

R_0 — сопротивление прибора (рамки),

I_0 — ток через прибор при полном отклонении стрелки,

U — полное напряжение, которое необходимо измерять при полном отклонении стрелки,

R — сопротивление установки (прибора вместе с добавочным сопротивлением),

R_d — искомое добавочное сопротивление,

U_d — напряжение, поглощаемое в добавочном сопротивлении.

Основная расчетная формула добавочного сопротивления:

$$R_d = R_0 \left(\frac{U}{U_0} - 1 \right) = R_0 \cdot \frac{U_d}{U_0}.$$

Если кроме напряжения U_0 вместо R_0 известно I_0 , то основная расчетная формула может быть написана в таком виде:

$$R_d = \frac{U - U_0}{I_0}, \text{ или } R_d = \frac{U}{I_0} - R_0 \text{ (если неизвестно } U_0 \text{)}.$$

Дополнительные зависимости, которыми часто приходится пользоваться при вычислениях:

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U}{R};$$

$$U_0 = I_0 R_0 = U - U_d;$$

$$R_0 = \frac{U_0}{I_0} = R - R_d;$$

$$R = R_d + R_0 = \frac{U}{I_0};$$

$$U_d = U - U_0;$$

$$\frac{R_d}{R_0} = \frac{U_d}{U_0} = \frac{U}{U_0} - 1.$$

Расход энергии в добавочном сопротивлении равен: $\frac{(U - U_0)^2}{R_d}$.

Практически амперметры магнитоэлектрических систем имеют падение напряжения обычно от 0,5 до 0,05 в.

Вольтметры магнитоэлектрических систем в среднем требуют тока от 1 до 10 мА при рамке, рассчитанной на 0,1 до 1 в. Специального типа милливольтметры имеют падение напряжения на рамке от 0,05 до 0,001 в (при сопротивлениях примерно от 50 до 100 ом).

Для характеристики количества энергии, потребляемой вольтметрами, обычно принято вводить некоторую особую единицу: *число омв, проходящих на 1 в напряжения*.

Эта единица попросту является обратной величиной тока, проходящего через прибор, независимо от прочих данных прибора. Так, например, *вольтметр на 150 в с сопротивлением в 75 000 ом имеет меру «чувствительности», или экономичности, вольтметра:*

$$\frac{75\,000}{150} = 500 \text{ ом/в} = \frac{1}{0,002} = \frac{1}{I_0}.$$

Вольтметры для радиовыпрямителей, усилителей и многих измерительных схем должны иметь «единицу чувствительности» не меньше 1000 ом/в. При измерении приемных контуров высокой частоты вольтметры высокой частоты (ламповые вольтметры) должны иметь примерно около 1 мгом/в или даже еще больше.

Обычно технические вольтметры для измерений постоянного тока имеют «чувствительность» не больше 100—1000 ом/в, а электромагнитные вольтметры переменного тока — даже в пределах 10—100 ом/в.

Еще одним условием, характеризующим приборы, главным образом гальванометры, является период колебаний стрелки и критическое сопротивление. Слабая сила пружин, увеличивающая чувствительность гальванометров, или большая масса подвижной системы приводит к тому, что стрелка гальванометра совершает несколько колебаний, прежде чем остановится на одном показании. Периодом называется время, протекающее между двумя последовательными прохождением стрелки гальванометра через нулевое деление в одну и ту же сторону.

Во Франции и в Германии периодом часто называют не эту величину, а в 2 раза меньшую (полупериод). Величина периода зависит (для одного и того же гальванометра) от затухания, иначе говоря, от сопротивления, на которое замкнута подвижная рамка гальванометра. С уменьшением внешнего сопротивления растет затухание, одновременно растет и период. При некотором сравнительно небольшом внешнем сопротивлении период обращается в бесконечность (стрелка успокаивается после одного качания); это сопротивление называется *критическим сопротивлением*. Стараются вести работу при критически успокоенном гальванометре (очень хорошо работать, когда в схеме гальванометр зашунтирован небольшим сопротивлением). Период качания стрелки колеблется от 3 сек. для обычных хорошо успокоенных гальвано-

метров и до 30—40 сек.—для гальванометров, предназначенных для баллистических работ. Величина критического сопротивления — от нескольких сотен до нескольких тысяч.

ТЕРМОПРИБОРЫ

Нагрев спая или контакта, образованного между двумя разнородными металлами, вызывает постоянную электродвижущую силу в цепи.

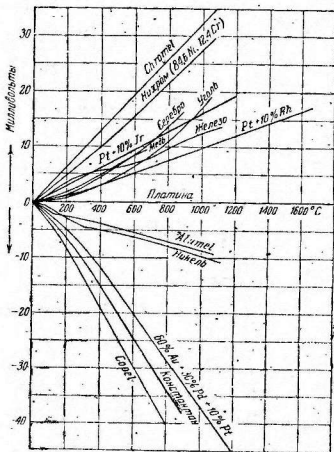


Рис. 18.3. График термоэлектродвижущих сил в зависимости от разности температур.

На этом свойстве и основано действие пирометров — приборов, определяющих высокие температуры. Пирометр (термоприбор) состоит из «пары», дающей при нагреве необходимую электродвижущую силу, и обычного милливольтметра, имеющего шкалу от 2 до 50 мв. Сопротивление милливольтметра зависит в основном от сопротивления контакта и подводящих проводов. Для повышения чувствительности установки гальванометр лучше брать на меньшее количество милливольт с большим внутренним сопротив-

лением. При сравнении различных комбинаций вопрос можно решать простым расчетом цепи по закону Ома (находя отклонение стрелки при общем сопротивлении цепи).

Термопара пирометров представляет изолированный контакт, позволяющий конструктивно помещать его в места, где должна быть определена температура. В электроизмерительной практике термопара для повышения чувствительности заключается обычно в вакуумный баллон (типа усиленной лампочки). Подогрев осуществляется или специальной подогревной нитью (без прямого контакта между цепью подогрева и цепью милливольтметра), или так называемым «термокрестом», где две разнородные проволоочки загнуты одна вокруг другой с пропаем контактного места. Это наиболее часто встречаемый тип термопары, причем в этом случае вследствие прямого контакта не допускается последовательное включение нескольких термопар.

Выбор материала для проводов термопары помимо механических и прочих соображений, в первую очередь определяется величиной электродвижущей силы, которая образуется термопарой.

Все металлы могут быть размещены по термоэлектрической шкале точно так же, как это делается при составлении элементного ряда. За среднюю нулевую точку обычно принимается свинец или платина. Остальные металлы будут характеризоваться величиной и направлением термоэлектродвижущей силы при контакте с этим нулевым материалом. Разность этих величин для любой пары и даст действующую термоэлектродвижущую силу.

Табл. 18.7 дает соответствующие значения термоэлектрических сил разных проводников по отношению к платине при разности температур в 100° . Знак + указывает, что в месте спая, где температура равна 0° , ток направлен от данного металла к платине.

Таблица 18.7

Таблица термоэлектрических сил различных металлов по отношению к платине при разности температур в 100° Ц

Металл	Милли- вольты	Металл	Милли- вольты	Металл	Милли- вольты
Силиций	+44,8	Медь	+ 0,74	Платина	+ 0,00
Железо	+ 1,75	Иридий	+ 0,67	Натрий	— 0,21
Молибден	+ 1,24	Свинец	+ 0,45	Палладий	— 0,47
Кадмий	+ 0,90	Олово	+ 0,42	Калий	— 0,94
Золото	+ 0,78	Магний	+ 0,42	Кобальт	— 1,75
Вольфрам	+ 0,78	Алюминий	+ 0,39	Никель	— 1,76
Цинк	+ 0,76	Уголь	+ 0,25	Константан	— 3,33
Серебро	+ 0,75	Ртуть	+ 0,01	Висмут	— 6,86

Любое количество дополнительных цепей из различных металлов не оказывает влияния на величину действующей термоэлектродвижущей силы при условии одинаковой температуры контактов (кроме одного рабочего).

На рис. 18.3 даны практические данные для выбора некоторых термопар по заданной термоэлектродвижущей силе и температуре (правильнее сказать, по разности температур, так как замкнутая цепь из двух проводников имеет два спая, из которых нагреваться должен только один; при нагреве обоих спаев термоэлектродвижущие силы уравнивают друг друга). Чаще всего применяются пары: железо-константан, медь-константан, молибден-никелин.

В заключение приведем данные некоторых термоэлементов в вакууме, изготовлявшихся заводом «Светлана» (табл. 18.8).

Таблица 18.8

Тип	r в ом	R в ом	E при $I = 10$ ма в мв	$I_{\max}$ при $E = 17$ мв в ма	Примечание
ТК-1	37	29	13,7—12,3	—	r — сопротивление термопары со стороны тока подогрева R — то же со стороны милливольтметра E — термоэлектродвижущая сила $I_{\max}$ — предельная сила тока нагрева термопары Тип ТК имеет термопару железо-константан, нить подогревателя константановую Тип ТП имеет термопару железо-константан, нить подогревателя платино-иридиевую
ТК-2	30	27	10—12	—	
ТК-3	30	14	7,4—9,1	—	
ТК-4	20	15—18	8,8—7,3	—	
ТК-5	14	26	3,5—5,0	—	
ТК-6	20	7	4,5—5,7	—	
ТК-7	20,5	13	8,9	—	
ТП-2	9,5	9,0	—	28,2	
ТП-5	3,8	3,2	—	53	
ТП-6	5,5	11	—	43—47	
ТП-7	1,8	1,2	—	147	
ТП-8	1,2	8,5	—	155—200	
ТП-9	2,0	9,0	—	101—106	
ТП-10	0,55	4,0	—	370—450	
ТП-11	0,25	0,43	—	1000	
ТП-12	0,14	0,65	—	1520	

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ИСКРЕ

Хороший способ для определения высоких (киловольты) напряжений представляет измерение длины искры, проскакивающей между двумя одинаковыми шарами. При одинаковых расстояниях между шарами искра проскакивает тем легче, чем меньшего размера шары. Приводим таблицу расстояний между шарами (табл. 18.9).

Следующая эмпирическая формула дает приближенные результаты для напряжения разряда между двумя латунными шарами диаметром 2,5 см (в обычном атмосферном воздухе):

$$U_{\text{приблизное}} = 2000l + 3000I,$$

где l — расстояние (кратчайшее) между шарами в миллиметрах,
 $U_{\text{приблизное}}$ — напряжение в вольтах.

Таблица 18.9

Расстояние между шарами (кратчайшее) в мм	Диаметр шаров в мм				Расстояние между шарами (кратчайшее) в мм	Диаметр шаров в мм			
	D = 10	D = 20	D = 60	D = 150		D = 10	D = 20	D = 60	D = 150
0,2	1 560	1 530	—	—	9,0	24 600	27 300	29 000	—
0,4	2 460	2 430	—	—	10	25 500	29 100	32 700	—
0,6	3 300	3 240	—	—	15	—	—	—	34 000
0,8	4 050	3 990	—	—	20	—	—	—	43 000
1,0	4 080	4 800	4 500	—	25	—	—	—	53 000
2,0	8 400	8 400	7 800	—	30	—	—	—	62 000
3,0	11 400	11 400	10 800	—	40	—	—	—	79 000
4,0	14 400	14 400	13 500	—	50	—	—	—	95 000
5,0	17 100	17 100	10 500	—	60	—	—	—	110 000
6,0	19 500	19 800	19 500	—	70	—	—	—	123 000
7,0	21 600	22 500	22 500	—	80	—	—	—	136 000
8,0	23 400	24 900	26 100	—	100	—	—	—	172 000

Таблица 18.10

Условные обозначения на электроизмерительных приборах, изготавливаемых в СССР

Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение
	Система Магнитоэлектрическая: с противодействующей силой		Постоянный ток
	без противодействующей силы		Переменный ток
	Электромагнитная		Постоянный и переменный токи

Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение
	Электродинамическая: без железа с противодействующей силой	2~	Двухфазный ток
	без противодействующей силы	3~	Трехфазный ток
	с магнитным экраном и противодействующей силой	~50	Частота 50 гц
	с магнитным экраном без противодействующей силы	3~50	Трехфазный ток 50 гц
	с магнитной цепью из железа с противодействующей силой	2kV	Изоляция прибора испытана напряжением в 2000 в
	с магнитной цепью из железа без противодействующей силы		
	Тепловая	60°	Вертикальная установка прибора
	Индукционная		Наклонная установка прибора под углом 60°
			Горизонтальная установка прибора
	Термоэлектрическая	Л	Класс прибора
	Электростатическая	К	первый — лабораторный
		Т	второй — технический
	Вибрационная	У	третий — указатель



(Использование линейки см. стр. 518).

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ¹

А

Абонентская магистраль, 355, 364, 365
 Абонентский пункт, 352
 Абсолютная система единиц, 7
 Автотрансформаторная связь каскада выс. частоты, 487
 Алфавит Морзе, 607
 Азимуты расчет, 604
 Азотная кислота, 633
 Айсолантайт, 238
 Аккумуляторы щелочных и кислотных свойства, 630
 Аккумуляторы кислотные, 634, 635, 638, 639
 — щелочные, 641
 Аком (акустический ом), 291
 Активная проводимость, 102
 Активное сопротивление, 102
 — катушки, 216, 219—221
 Акустические единицы, 18
 Акустический закон Ома, 292,
 — ом, 291
 Акустически-компенсированный регулятор громкости, 348
 Алгебраические формулы, 36—39
 Алфавит латинский, 5
 — греческий, 5
 Альbedo, 610
 Альдрей, 168, 170
 Алюминиевые провода, 163, 167, 168
 Алюминий, 114
 Американская номенклатура проводов, 116—118
 Аммоний хлористый, 632
 Ампер-витки, 104
 — на 1 см пути, 230
 — подмагничивающие, 228
 Ампера правило, 90
 Ампер международный, 12

Ампер-секунда, 14
 Ампер-час, 14
 Амплитуда возбуждения удвоительного каскада, 556
 Амплитуда переменного тока, 91, 93
 — сеточного напряжения в передатчике, 565
 — 1-й гармоники, 552
 Анализ искажений, 518
 Английская номенклатура проводов, 116—118
 Ангстрем, 585
 Анодный контур генераторной лампы, 553
 Анодное напряжение приведенное, 373, 374
 Анодного тока импульс, 551
 Анодные характеристики, 381, 383
 Антенна Герца (дублет), 576
 — Маркони, 580
 — направленная, 581
 — несимметричная, 579
 — симметричная, 580
 — стандартная (эквивалент для испытаний), 543
 — «Цепелин», 580
 Антенны простых сопротивление излучения, 606
 Антенный канатик, 172
 — эквивалент, 544
 Антенны вертикальной сопротивление излучения, 607
 — длинноволновые, 604
 — передающие коротковолновые, 569
 — рамочной действующая высота, 606
 — сопротивление излучения, 606
 Аperiodический процесс, 270
 Арифметическая прогрессия, 38

¹ Цифры в конце строк указывают страницы.

Артикуляция (разборчивость речи), 361
Асбест, 238
Атмосфера техническая, 11
Аттенуатор (делитель мощности), 545, см. также регуляторы мощности, 340—348

Б

Бакелит, 237, 238, 242
Бар, 11, 18, 291
Бария, 11
Баркгаузена формула, 376
Барреты, 460
Батарейные малогабаритные лампы, 394
Бегущая волна в фидере, 571
Бел, 19, 324
Беттервортс (классификация катушек и расчет активного сопротивления), 216, 220
Биеция, 293
Биметаллические провода, 163, 167
Блокинг-генератор, 618
Болевой предел, 295, 331, 334
Больцмана постоянная, 478
Боме, шкала плотности, 628
Бронзовые провода, 162, 166
Бумага парафинированная, 237, 238, 242
— промасленная, 238
— бакелизованная, 238

В

Вакуумные термоэлементы, 656
Ватт, 10
— международный, 13
— на кв. сантиметр (сила звука), 19
Ватт-секунда международная, 14
Ватт-час, 14
Вебера (Фехнера) закон, 323
Величины постоянные (важнейшие), 32
Венельта цилиндр, 613
Вес провода в изоляции, 132—137
— удельный металлов, 114
Весла приемно-усилительных ламп, 408
Вертикальной антенны сопротивление излучения, 607
Верхних частот фильтры, 540

Взаимной индукции единицы, 15
Взаимная индукция катушек, 221—223
Взаимоиндукция между каскадами передатчика, 563
Вибратор (диполь), 569
Вибратора волновое сопротивление, 571
— динамические постоянные, 604
— длина волны (собственная), 604
Виллемит, 616
Висмут, 114
Витка квадратного и многоугольного индуктивность, 214
Витка круглого индуктивность, 213
Витков число на 1 вольт, 529, 531
— число на 1 см длины намотки, 132—137
— число на 1 см² сечения намотки, 140
Включение концов катушки обратной связи, 222, 224
— электродов к ножкам цоколя, 390
Влажность диэлектриков, 239
Влияние собственной емкости катушки на ее индуктивность, 226
Внутриламповые емкости приемно-усилительных ламп, 407
Внутреннее сопротивление лампы, 375, 377, 379
Воздушный зазор, 230
Воздушные линии (данные), 171
Воздушных линий нагрузка током, 146
Волн распространение, 593, 595—604
Волновой коэффициент антенны, 605
Волновое сопротивление абонентской магистрали, 362, 364
— — вибратора, 571
— — железной линии, 363, 364
— — линий, 362
— — фидера, 571
Волны звуковые, 305
— (наименования диапазонов, ОСТ 7768), 586
— стоячие, 569, 574
Вольт международный, 13
Вольфрам, 114
Воск, 239
Выпрямители ионные управляемые, см. тиратроны, 456
— маломощные, 528
— ртутные, 389, 458 *

Выпрямительные лампы одноанодные (с лучистым охлаждением), 449
 — ртутные колбы (обозначения), 389
 Выпрямительных ламп обозначение (из ОСТ'а 7261), 389
 Выравнивание гетеродинного контура для супера, 493—496
 Выравнивающие конденсаторы в супергетеродине, 493—496
 Высокой частоты усилители, 484—492
 Высокочастотное сопротивление не-
 проводочных сопротивлений, 181
 — — проводов, 149
 Высота действующая рамочной антенны, 606
 Выходной трансформатор, 515
 Выходная мощность нормальная, 543
 Вычислений приближенных формул, 41

Г

Габариты приемно-усилительных ламп, 408
 Газотроны (обозначения), 389
 — (данные), 457
 Гамма диатомическая, 305
 Гармоника вторая, 518
 Гармоники вибратора, 569
 — (первой) амплитуда, 552
 — периодической функции, 39, 78—82
 Гаусс, 17
 Гектоватт, 14
 Гектоватт-час, 14
 Гектопеза, 11
 Генератор эквивалентный усилительного каскада, 477
 Генератора отдача, 85
 — работа на нагрузку, 336
 Генераторные лампы, 455, 566, 567
 — — маломощные, 450—451
 — — (по ОСТ 7259), 452—453
 Генераторный каскад супера, 497
 Генераторы ламповые, 550—568
 Генри (международный), 15, 185
 Геометрическая прогрессия, 39
 Геометрические обозначения, 28
 Герц, 16, 291
 Герца антенна (дублет), 576
 — диполь, 569
 Гетеродинные катушки супергетеродина, 233

Гетеродинный каскад супера, 497
 Гетинакс (пертинакс), 237, 238, 242
 Гибкость, 19
 Гильберт (Жильберт), 17
 Гиперболические функции, 64
 — — (график), 66
 — — (таблица), 67—71
 Гиперболических функций обозначения, 29
 Гистерезиса потери, 110
 Гопкинсона формула, 105
 Горбы связи, 288
 Грамм (сила), 9
 График Энгстрема, 611
 Графики для расчета допустимого режима для постоянных сопротивлений, 174—176
 — распространения волн (американского бюро стандартов), 598—599
 Графический способ определения собственной емкости катушек, 225—227
 Греческий алфавит, 5
 Гридлика расчет (передатчика), 557
 Громкости, нулевые уровни, 328—332, 334
 — равной кривые, 293, 295
 — регулирование, 323, 333, 351
 Громкость и сила звука, 293, 332
 — речи, 301
 Громкоговорителей данные, 366, 367
 — (трансляционных) основные данные, 354
 Громкоговорители электродинамические, см. Динамики, 319—322
 Громкоговоритель «Зорька», 367
 — «Рекорд», 319, 352, 354, 366
 — «Пролетарий», 352, 354
 — «Фрейшвингер», 367
 Гулла формула, 492
 Гуттаперча, 238

Д

Давление звуковое, 18
 — статическое, 292
 — мгновенное звуковое, 292
 — эффективное звуковое, 292
 — пиковое звуковое, 292
 Данные электромагнитных громкоговорителей, 366, 367
 — (электрические) динамиков, 321

Данные (электроакустические) динамиков, 319, 320, 322
 — микрофонов, 320
 — фильтровых дросселей, 535
 Двухпроводный линии индуктивность, 211
 — — электрические данные, 360
 Двухпроводный фидер, 571, 572
 — — бегущей волны, 576
 Двухсигнальная избирательность (кривые), 548
 Двухсигнальное испытание избирательности, 546
 Двухтактная схема (пушпульный каскад), 519
 — схема усилительного каскада передатчика, 554
 Действие тока на ток, 91
 Действующая высота рамочной антенны, 606
 Действующее значение тока, 92
 — сопротивление проводов при переменном токе, 157—160
 Декремент затухания (логарифмический), 216, 270
 Делители мощности, см. регуляторы мощности, 340—348
 Делитель мощности (аттенюатор), 545
 Дебре-Нагаока (формула), 187
 Детальность воспроизведения, 623
 Децибел, 19, 323
 — таблица, 325—328
 Дециметровые волны (ОСТ 7768), 586
 Децимикроватт на квадратный сантиметр, 18
 Дешмана формула, 372
 Джоуль международный, 10, 14
 Джоуля-Ленца закон, 86, 89
 Диапазон (динамический) передачи, 297
 Диапазонов наименования (ОСТ 7768), 586
 Диапазона перекрытие, 483
 Диапазон радиочастотный, 585
 — уха, 296
 — частотный (акустический), 305, 306
 Дина, 9
 — на сантиметр, 19
 Динамическая характеристика, 518
 Динамические постоянные вибратора, 604

Динамический диапазон передачи, 297
 Динамических громкоговорителей электроакустические данные, 319, 320, 322
 — громкоговорителей электрические данные, 321
 Динамического громкоговорителя отражательная доска, 315
 Диполь Герца, 569
 Диполя сопротивление излучения, 606
 Директор, 581
 Диск Нипкова, 611
 Дистрибушен-контроль, см. Коррекция распределения, 619
 Дифракция, 293
 Диэлектрическая крепость, 237
 — пленка, 256
 — проницаемость, 238
 Длина волны вибратора (собственная), 604
 — — частота (таблица данных колебательных контуров), 271—282
 — звуковой волны, 305
 Длины волн-частоты (таблица), 588—593
 Длинноволновые антенны, 604
 Длинные волны (ОСТ 7768), 586
 Добавочные сопротивления к вольтамметрам, 652
 Доброкачественность катушки, 215—218, 289
 — конденсатора, 240
 — лампы, 380
 — удельная лампы, 380
 Добротность (см. Доброкачественность),
 Допуски на непроволочные сопротивления, 177
 Допустимая нагрузка проводов ток, 125—129
 Допустимые нагрузки сопротивлений, 88
 Дробовой эффект (шот или шрот-эффект), 480
 Дроссель с железным сердечником, 229, 231
 Дросселей фильтровых данные, 535
 Дроссельный усилитель низкой частоты, 502
 Дублет (Герца), 576
 Дюйма перевод долей, 34, 35

Е

- Единиц система CGS, 6
- — MTS, 6
- — MKS, 6
- электромагнитных система CGSp, 7, 8
- электростатических система CGSe, 7, 8
- Единица магнитного напряжения, 17
- магнитного потока, 17
- магнитной индукции, 17
- магнитодвижущей силы, 17
- напряженности магнитного поля, 17
- передачи, 324
- Единицы акустические, 18
- взаимной индукции, 15
- количества электричества, 14
- магнитные, 17
- механические, 9
- механического напряжения, 11
- мощности, 10
- оптические, 609
- работы, 9
- — электрического тока, 14
- самоиндукции, 15
- силы, 9
- частоты, 16
- электрические международные, 12
- электрического напряжения и электродвижущей силы, 13
- электрического сопротивления, 12
- электрической емкости, 15
- — мощности, 13
- энергии, 9
- Едкий натр, 633
- Едкое кали, 633
- Емкость двухпроводной линии, 361
- динамическая вибратора, 604
- катушек (собственная), 224—227
- конденсатора, 236
- между двумя проводами, 253
- монтажа, 483
- статическая радиосети, 605
- удельная электролитического конденсатора, 257
- шара, 254
- электролитиков при разных частотах, 260
- Емкостей параллельное соединение, 100

- Емкостей последовательное соединение, 100
- Емкости междуэлектродные приемно-усилительных ламп, 407
- электрической единицы, 15
- Емкостная проводимость, 102
- связь, 284
- — контура передатчика, 560
- Емкостное сопротивление, 94, 102
- — конденсаторов (таблица), 95, 96
- Емкостный ограничитель (трансляционный), 353, 364

Ж

- Железа трансформаторного кривые намагничивания, 109
- Железные провода, см. Провода железные.
- Железный сердечник при радиочастотах, 232
- — катушек, 227—232
- — силового трансформатора, 529
- Железо, 114
- Жила витая, 121
- Жильберг (см. Гильберг), 17
- Жолуди, 395

З

- Зависимость параметров лампы от режима, 385
- Заглушение низших частот динамического громкоговорителя, 317
- Заграничная номенклатура проводов, 116—118
- Заграждающие фильтры, 542
- Зазор воздушный, 230
- Закон Вебера-Фехнера, 323
- Джоуля-Ленца, 86, 89
- Кирхгофа, 83
- Кулона, 90
- Ома, 83—89
- — (акустический), 292
- — магнитной цепи, 104
- степени три вторых, 373
- Запас энергии в катушке, 93
- — в конденсаторе, 93
- Заряд электрона, 371
- Затухание километрическое линий, 362, 364
- фидера, 572
- цепи катушки, 216
- Затухания коэффициент для железного провода, 162

— логарифмический декремент, 216
 Звезда (соединение «звездой»), 99
 Звoryкина трубка, 615
 Звук, 291
 Звука громкость, 293, 332
 — сила, 18, 291, 332
 — нулевые уровни, 328—332
 — скорость распространения, 308
 Звуковая мощность средняя, 299
 Звуковое давление (мгновенное, эффективное, пиковое), 18, 292, 331
 — сопровождение, 623
 Звуковой волны длина, 305
 — энергии плотность, 18, 292
 Звуковые уровни, 296, 331
 Звуковые частоты (таблица настро-
 ек), 286—287
 Звукофикация помещения, 313
 Зеркало (активное и пассивное), 581
 Золото, 114
 Зоммерфельда формула, 596
 Зона мертвая, 600

И

Избирательности двухсигнальное ис-
 пытание, 546
 Избирательность двухсигнальная
 (кривые), 548
 — катушки, 216
 — контура, 289
 — приемника, 543
 Излучения мощность, 570, 606
 — рамки сопротивление, 606
 — сопротивление, 570, 606
 Изменение сопротивления провода
 при нагревании, 120, 142
 Измерение высоких напряжений по
 искре, 656
 — собственной емкости катушек
 (косвенный метод), 225—227
 Измерительные электроприборы,
 643—658
 Изображение негативное, 624
 Изображений полоса частот, 624
 Изображения строка, 610
 — разложение и синтез, 610
 Изоляции проводов пробойное на-
 пряжение, 130
 — проводов толщина слоя, 130
 — род, 115, 130
 Изолированные неперелачные со-
 противления, 177
 Изолированный провод, 121

Иконоскоп, 612
 Икс, 585
 Импульс анодного тока, 551
 — (световой или электрический),
 610
 Индексы основные, 24
 Индикатор настройки (схема вклю-
 чения), 464
 Индикаторная лампа 6Е5, 463
 Индуктивная проводимость, 102
 — связь, 284
 — — между каскадами передатчи-
 ка, 559, 563
 Индуктивное сопротивление, 94, 102
 — — катушек (таблица), 97
 Индуктивностей параллельное сое-
 динение, 100
 — последовательное соединение, 100
 Индуктивность двухпроводной ли-
 нии, 211, 361
 — витка (квадратного и многоуголь-
 ного), 214
 — динамическая вибратора, 604
 — катушек однослойных, 185—205
 — — спиральных, 186
 — — многослойных, 186
 — — экранированных, 192—193
 — — коротковолновых, 205—206
 — — корзиночных, 205, 207
 — — тороидных, 207
 — — сотовых, 207, 209
 — — с железным сердечником,
 227—235
 — круглого витка, 213
 — одиночного короткого провода,
 209
 — — длинного провода, 211
 — трансформатора промежуточной
 частоты с магнетитовым сердеч-
 ником, 234—235
 — (универсальные формулы расче-
 та), 185—186
 Индукции взаимной единицы, 15
 — магнитной единицы, 17
 — взаимной катушек (расчет), 221
 Индукция магнитная, 106
 Индукционные измерительные при-
 боры, 643
 Интегралы неопределенные, 40
 — определенные, 41
 Интервалы музыкальные, 305, 307
 Интерференция, 293
 Интерференционного сигнала мощ-
 ность, 543

Ионизирующий потенциал газов, 372
 Ионные управляемые выпрямители, см. Тиратроны, 456
 Искажений анализ, 518
 Искажения нелинейные (вторая, третья, четвертая гармоники), 518, 519
 Испытание избирательности, двух-сигнальное, 546
 — приемника при приеме на рамку, 549
 Испытания радиовещательных приемников, 543, 549

К

Кабели коаксиальный, 623
 Кадр изображения, 610
 Кажущаяся мощность, 94
 Каирская конференция (распределение волн), 587
 Кали едкий, 633
 Каминского сопротивления, 173
 Канатик антенный, 172
 Каскад выс. частоты с автотрансформаторной связью, 487
 — — — с настроенным анодом, 485
 — — — с трансформаторной связью, 487
 — оконечный, 514
 — пушпульный (двухтактная схема), 519
 — удвоительный, 554
 — усилительный передатчик, 550
 Каскады передатчика, 561
 Катоде, 379
 Катушка (запас энергии), 93
 — однослойная в 200 мкн, 203—205
 Катушки доброкачественности, 215—218
 — гетеродинные с железным сердечником, 233
 — обратной связи включение концов, 222, 224
 — однослойные, 185, 187, 205
 — спиральные, 186
 — многослойные, 186
 — заэкранированные, 192—193
 — коротковолновые, 205—206
 — корзиночные, 205, 207
 — тороидные, 207
 — сотовые, 207—209
 — радиочастотные с железным сердечником, 232

Катушки, расчет на заданную волну, 194—204
 — с железным сердечником, 227—232
 — (универсальные формулы расчета индуктивности), 185—186
 Катушек коэффициент взаимной индукции, 221
 — собственная емкость, 224—227
 — трансформаторных расчет, 532
 Каучук, 238, 239
 Качество воспроизведения, 304
 Квадратов и корней квадратных, таблица, 30
 Квадратного уравнения решение, 37
 Кварц, 238, 239
 Кенотронная обмотка типового силового трансформатора, 537
 Кенотронов маломощных цоколевка, 454
 Кенотроны маломощные, 442
 Киловатт, 10, 14
 Киловатт-час, 14
 Киловольт, 13
 Килогерц, 16
 Килогерцы-метры (таблица), 588—593
 Килограмм-метр, 10
 — — в секунду, 10
 Килограмм (сила), 9
 Килоджоуль, 9
 — в секунду, 10
 Километрическое затухание линии, 362, 364
 Кинескоп, 613
 Кирхгофа законы, 83
 — формула (емкость между параллельными дисками), 244
 Кислота азотная, 633
 — серная, 633
 — соляная, 633
 Кислотных аккумуляторов свойства, 630
 Класа В схема, 521
 Клирфактор, 297, 370, 518
 Коаксиальный кабель, 623
 — конденсатор, 253
 — фидер, 572
 Кобальт, 114
 Код цветной для постоянных сопротивлений, 178
 Колбы ртутные выпрямительные (обозначения), 389
 Колебательная мощность, 562

Колебания II рода, 550
 Колебательный контур, 269
 — процесс, 270
 Колебаний электромагнитных спектр, 583, 587
 Количество электричества единицы, 14
 Колпика схема, 497
 Комплексный ограничитель (транс-
 ляционный), 354
 Комплексные величины, 53—56
 Конденсатор из двух коаксиальных
 цилиндров, 253
 — из двух параллельных плоско-
 стей, 243
 — логарифмический или среднели-
 нейный, 249
 — многопластинчатый, 244
 — прямоолинейный, 247
 — прямоемкостный, 245
 — прямочастотный, 248
 Конденсатора доброкачественность,
 240
 — запас энергии, 93
 — потери при переменном токе, 239
 Конденсаторов емкостное сопротив-
 ление (таблица), 95—96
 Конденсаторы, 236—268
 — выравнивающие супергетеродин-
 ной схемы, 493—496
 — переменной емкости (см. Конден-
 сатор)
 — электролитические, 255
 Константан, 147, 155
 Контрастность, 623
 Контур анодный генераторной лам-
 пы, 553
 — колебательный, 269
 — передатчика простой, 558
 — — с индуктивной связью, 559
 — — с емкостной связью, 560
 Контра избирательность, 216—289
 — расчет (передатчика), 558
 — генераторного сопротивления, 560
 Концентрация растворов, 631
 Корзиночные катушки, 205, 207
 Корней квадратных таблица, 30
 Корни (формулы преобразования), 36
 Короткие волны (ОСТ 7768), 586
 — — (распространение), 597—604
 Короткого замыкания (сила тока и
 мощность), 336
 Коротковолновые катушки, 205—206
 Коротковолновые передающие антен-
 ны, 569—582

Коррекция распределения, 619
 — сигнала развертки, 618
 Косинус фи, 94
 Косинусы, (таблица), 44—47
 Косинусов значения от 0° до 1° , 52
 Котангенсы (таблица), 48—51
 Коэффициент взаимной индукции ка-
 тушек, 221
 — волновой антенны, 605
 — затухания железного провода, 162
 — звукопоглощения, 313, 314
 — использования анодного напря-
 жения, 552, 565
 — модуляции, стандартный, 545
 — мощности, 94
 — нагрузки, 516
 — напряжения постоянных сопро-
 тивлений, 182
 — нелинейности передачи, 297
 — нелинейных искажений, 297, 370,
 518
 — передачи, 296
 — перекрытия диапазона, 483
 — полезного действия генераторной
 лампы, 552
 — полезного действия фидера, 575
 — поправочный к формуле Нагаока,
 188, 189, 191
 — преобразования пентагрида, 379,
 380
 — связи, 283
 — температурный металлов, 114
 — — реостатных сплавов, 147
 — трансформации выходного транс-
 форматора, 515
 — усиления лампы, 375, 377, 379
 Крепость диэлектрическая, 237
 Кривая резонанса, 289—290
 Кривые намагничивания, 109
 — потерь стали в зависимости о
 частоты, 111
 — равной громкости, 293, 295
 Критическое сопротивление, 270
 Круга окружности (таблица), 30
 — площади (таблица), 30
 Крутизна лампы, 375, 377, 379,
 — преобразования пентагрида, 379,
 380
 — удельная лампы, 376
 Кубы чисел, 33
 Кулон международный, 14
 Кулона законы, 90
 Купроновые измерительные прибо-
 ры, 644

- Лампа индикаторная, 6Е5, 463
 — пятиэлектродная (пентод), 378
 — семиэлектродная (пентагрид), 378
 — трехсеточная (пентод), 378
 Ламповое основное уравнение, 376
 Ламповые генераторы, 550—568
 — обозначения, 368—371
 Лампы внутреннее сопротивление,
 375, 377, 379.
 — выпрямительные (кенотроны мало-
 мощные), 442
 — — (обозначения), 389
 — — аноодные (с лучистым ох-
 лаждением), 449
 — выпрямительные ртутные, 458
 — газотроны, 457
 — генераторные, 455 566—568
 — — маломощные, 450—451
 — — (по ОСТ 7259), 452—453
 — доброкачественность, 380
 — жолуди, 395
 — коэффициент усиления, 375, 377,
 379
 — крутизна, 375, 377, 379
 — малогабаритные батарейные, 394
 — металлической серии, 465—475
 — металлические, цоколевка, 462
 — модуляторные, 441
 — — (обозначения), 388
 — приемно-усилительные: габари-
 ты, вес и средний срок службы,
 408
 — приемно-усилительные (данные
 накала), 407
 — — — переменного тока (4-воль-
 товой серии), 406
 — приемно-усилительные постоян-
 ного тока, 404—405
 — — —, таблица междуэлектрод-
 ных емкостей, 407
 — проницаемость, 375
 — трансляционные, 396—402
 — собственные шумы, 478
 — схема эквивалентного генератора,
 477
 — удельная доброкачественность,
 380
 — удельная крутизна, 376
 — универсальные и экранирован-
 ные старых выпусков, 409
 — усилительные* проводной связи,
 402

- Лампы усилительные (физические
 явления), 371
 — (триоды) старых выпусков, 410
 — фотоэлементы, 459
 — (цоколевка кенотронов маломощ-
 ных), 454
 — экранированные в передатчике
 564

Тип лампы	Стр.
Б-2	460
Б-3	460
Б _г -250	455, 566
Б _к -250	455, 566
БТ-500	455, 566
В-16	449
В-17	449
В-24	449
В-27	449
В-128	449
В-200	449
В-4-200	449
В-4-201	449
В-8-800	449
В-27-800	449
ВГ-126	457
ВГ-129	457
ВГ-130	457
ВГ-131	457
ВГ-161	457
ВГ-167	457
ВГ-176	457
ВО-116	442, 443, 454
ВО-125	442, 444, 454
ВО-188	442, 445, 454
ВО-202	442, 445, 454
ВО-230	442, 446, 454
ВО-239	442
Г-1	451, 455
Г _г -300	566
Г _г -2000	566
Г-5	455
Г-9	451, 455
Г-10	455
Г-29	566
Г-32	450, 455
Г-36	455
Г-46	566
Г-47	455, 566
Г-49	455, 566
Г-54	455, 566

Тип лампы	Стр.
Г-56	455
Г-58	566
Г-61	455, 566
Г-62	455
Г-64	455, 566
Г-65	450, 455
Г-68	455
Г-88	450
Г-91	450
Г-92	566
Г-100	455, 566
Г-120	566
Г-300	455
Г-402	568
Г-403	568
Г-404	567
Г-406	568
Г-407	568
Г-408	568
Г-409	568
Г-411	568
Г-412	568
Г-413	568
Г-414	568
Г-418	568
Г-425	568
Г-5000	566
ГД-50	452, 566
ГД-100	452, 566
ГД-200	452, 566
ГД-400	452, 566
ГД-1000	452, 566
ГДО-15,	452, 566
ГДО-30	452, 566
ГК-20,	452, 566
ГК-36	450, 566
ГК-36 экраниро- ван.,	451, 567
ГК-2000	566
ГК-3000	452, 566
ГКВ-4	566
ГКО-10	452, 566
ГКЭ-150	452, 567
ГКЭ-300	452, 567
ГКЭ-500	567
ГКЭ-1000	452, 567
Г-10,	566
ГУ-4	452, 566
ГУ-150	452, 566

Тип лампы	Стр.
ГУО-5	452, 566
Ж-4	455
Жолудь-954,	395
Жолудь-955,	395
Жолудь-956,	395
К ₂ -150,	449
К ₃ -5,	449
К-3/600,	449
К-5,	449
КЛ	449
М-28	455
М-39	450, 455
М-41	455
М-42	455
М-50	441
М-53	455
М-57	455
М-80	441
М-84	455
М-89	455
М-100	455
М-150	441
М-250	455
М-400	441
М-401	441
М-800	441
МДС (СТ-6, двух- сетка),	409
МО 10	441
МО-20	441
МТ-1	410
НТ-79	410
П-7	391, 403, 404, 407, 408
ПБ-108	382, 391, 404, 407, 408, 414
ПО-23	409
ПО-74	409
ПО-114,	410
ПО-119	391, 406, 407, 408, 419
ПТ-2 (микро)	391, 403, 404, 407, 408
ПТ-19	410
ПТ-20 (микро),	409
Р-5	391, 403
С-94	450, 455
С-103	455, 567
С-106	455, 567

Тип лампы	Стр.
C-109	455, 567
C-166	567
СБ-112	391, 404, 407, 408, 416, 417
СБ-147	391, 404, 407, 408, 423, 424, 425
СБ-151	404
СБ-154	391, 404, 407, 408, 428, 429
СБ-155	391, 404, 407, 408, 429, 430
СБ-194	404
СБ-219	407, 408
СБ-241	394
СБ-244	394
СБ-245	394
СК-137	567
СК-158	450, 567
СК-164	567
СО-44	391, 404, 407, 408, 409, 412
СО-81	409
СО-90	409
СО-95 (подогревн.)	409
СО-118	391, 406, 407, 408, 417, 418
СО-122	391, 406, 407, 408, 420, 421
СО-124	386, 391, 406, 407, 408, 421
СО-148	406, 407, 408, 425, 426, 427
СО-182	391, 406, 407, 408, 432, 433
СО-183	391, 407, 408, 434, 435
СО-184	406
СО-185	391, 406, 407, 408, 435, 436
СО-187	391, 406, 407, 408, 438, 439
СО-193	391, 406, 407, 408, 439, 440
СО-194	407
СО-200	567
СО-243	394
СТ-6 (МДС, двух-сетка)	409

Тип лампы	Стр.
СТ-19,	410
СТ-80	409
СТ-83	410
ТГ-160	456
ТГ-162	456
ТГ-205	456
ТГ-212	456
ТГ-213	456
ТГ-215	456
ТГ-229	456
ТГ-235	456
ТО-141	397, 400, 401, 402
ТО-142	398, 400, 401, 402
ТО-143	399, 401, 402
УБ-107	391, 404, 407, 408, 413
УБ-110	391, 404, 407, 408, 415
УБ-111	409
УБ-132	391, 404, 407, 408, 422
УБ-152	391, 404, 407, 408, 427, 428
УБ-153	404
УБ-178	391, 404, 407, 408, 431
УБ-179	406
УБ-180	391, 406, 407, 408, 431, 432
УБ-240	394
УК-30	391, 404, 407, 408, 410, 411
УК-33	410
УК-34	410
УО-3	410
УО-104	383, 391, 406, 407, 408, 413
УО-186	391, 407, 408, 437
УО-201	404
УТ-1	410
УТ-15	410
УТ-40	410
УТ-92	450
ЦГ-1	460
ЦГ-2	460
ЦГ-3	460

Тип лампы	Стр.
ЦГ-4	460
ЦГ-5	460
ЭТ-1	391, 403, 407, 408, 409
2-B-6	458
2-B-12	458
2-B-20	458
2-B-150	442, 454
2-B-400	442, 454
2-BH-12	458
2-BH-20	458
3-B-12	458
3-B-30	458
3-BH-1-500	458
3-BH-6-12000	458
3-BH-6-15000	458
3-BH-12	458
3-BH-15-8000	458
3-BH-30	458
3-BH-60	458
3-BH-100	458
3-BH-4-3000	458
4-B-6	458
5Ц4	442, 446, 447, 454
5Ц4-C	454
6A8	462, 465, 466
6Г7	462, 465, 466, 504, 505
6Е5	462, 463, 465
6Ж7	462, 465, 467, 504, 505
6К7	462, 465, 468 469
6Л6	462, 465, 470
6Л7	462, 465, 470 471
6Н7	462, 465, 471, 472, 506, 507
6Р7	462, 465, 469, 506, 507
6С5	462, 465, 472, 473, 504, 505
6Ф5	462, 465, 473, 506, 507
6Ф6	462, 465, 474, 475
6Х6	462, 465, 475
83-V	442, 448, 454

Латинский алфавит, 5
 Латунь, 114
 Ленца (Джоуля) закон, 86, 89
 «Лилипут» (сопротивления), 173
 Линии воздушной нагрузка током,
 146
 — воздушные (данные), 171, 356, 360
 — двухпроводной индуктивность,
 211
 — двухпроводной электрические
 данные, 360
 — железные, 363—365
 — провололочные, 162
 — трансляционной полное сопро-
 тивление, 356
 — электрические данные, 361
 Линейное напряжение, 98
 Линейный ток, 98
 Линза электрическая, 614
 Логарифмический декремент зату-
 хания, 216, 270
 — (среднелинейный) конденсатор,
 249
 Логарифмов десятичных мантиссы,
 72—74
 Логарифмы натуральные, 75—77
 Лошадиная сила, 11
 Луча оптического расстояние, 603
 Лэнгмюра формула, 373
 Люкс, 609
 Люмен, 609

М

Магистраль абонентская, 355
 Магический глаз, см. 6Е5, 463, 464
 Магнетит, 232
 Магний серноокислый, 632
 Магнитная индукция, 106, 230
 — проводимость, 105
 — проницаемость, 106, 107
 — — начальная, 228
 — — переменная, 229
 — цепь, 103
 Магнитное сопротивление, 104
 Магнитного поля напряженность,
 103, 106
 — — единица напряженности, 17
 — напряжения единицы, 17
 Магниты постоянные, 112
 Магнитный поток, 104, 105
 Магнитного потока единицы, 17
 Магнитной индукции кривые, 230
 — — единица, 17

- Магнитной цепи закон Ома, 104
- Магнитные единицы, 17
- Магнитодвижущая сила, 104
- Магнитодвижущей силы единицы, 17
- Магнитоэлектрические измерительные приборы, 643, 648
- Максвелл, 17
- Максвелла правило, 90
- Максимальная неискаженная мощность, 516, 543
- Максимальный импульс анодного тока, 565
- Малогобаритные батарейные лампы, 394
- Маломощные выпрямители, 528
 - генераторные лампы, 450—451
 - кенотроны, 442
- Манганин, 147, 153
- Мантиссы десятичных логарифмов, 72—74
- Марки проводов, 115
 - шнуров, 115
- Маркони антенна, 580
- Математические обозначения, 27
- Мгновенное звуковое давление, 292
- Мегаватт, 10, 13
- Мегаватт-час, 14
- Мегагерц, 16
- Мегом, 12
- Междукаскадная связь в передатчике, 561
- Международная ватт-секунда, 14
 - свеча, 609
 - фарада, 15
- Международные электрические единицы, 12
- Международный ампер, 12
 - ватт, 13
 - вольт, 13
 - генри, 15
 - джоуль, 14
 - кулон, 14
 - ом, 12, 113
- Междуэлектродные емкости приемноусилительных ламп, 407
- Медные провода, 162, 166, 169
 - — нормы сопротивлений, 166
- Медный купорос, 632
 - провод, 119
 - — без изоляции, 122—129
- Медь электролитическая, 114
 - электротехническая, 114
- Мера радианная (таблица), 41
- Мертвая зона, 600
- Металлическая серия ламп, 465
- Металлических ламп цоколевка, 462
- Метод символический, 53
- Методы испытаний радиовещательных приемников, 543
- Метры-килогерцы (таблица), 588—593
- Метровые волны (ОСТ 7768), 586
- Механические единицы, 9
- Механический ом, 18, 291
- Механическое сопротивление, 18
- Мехом (механический ом), 18, 291
- Микалекс, 238
- Миканит, 237, 238
- Микроампер, 13
- Микробар, 11
- Микроватт, 14
- Микровольт, 13
- Микрогенри, 16, 185
- Микрокулон, 14
- Микром, 12
- Микромикрофарада, 15
- Микрон, 585
- Микрофарада, 15
- Микрофон ММ-2, 318
- Микрофонов данные, 320
- Миллиампер, 13
- Милливатт, 14
- Милливольт, 13
- Миллигенри, 16, 185
- Миль, 116
- Миля (затухание мощности), 324
- Многопластинчатый конденсатор, 244
- Многослойные катушки, 186, 221
- Многофазная система, 98
- Многофазные токи, 98
- Множитель напряжения, 289
 - усиления катушки, 216
- Мо, 113
- Моавра формула, 56
- Модулятор света, 624
- Модуляторные лампы, 441
- Модуляторных ламп обозначение (из ОСТ-а 7262), 388
- Модуляции стандартный коэффициент 545
- Мокрые конденсаторы (электролитические), 255, 264—266
- Молибден, 114
- Морзе азбука, 607
- Мостиковый регулятор мощности, 344
- Мощности единицы, 10

Мощность генераторной лампы, 551
 — звуковая средняя, 299
 — излучения, 570, 606
 — интерференционного сигнала, 543
 — кажущаяся, 94
 — колебательная, 562
 — короткого замыкания, 336
 Мощность неискаженная максимальная, 516, 543
 — номинальная выходная, 543
 — нормальная выходная, 543
 — отдаваемая оконечным каскадом, 516, 518
 — передачи средняя, 305
 — — пиковая, 305
 — переменного тока, 93
 — подводимая (удвоительного каскада), 555
 — рассеяния, 383, 555
 — реактивная, 94
 — трехфазного тока, 99
 — удвоителя полезная, 555
 Мощности делитель (аттенюатор), 545
 — делители, см. Регуляторы мощности, 340—348
 — звуковой пика, 299
 — каскадов передатчика, 561
 — коэффициент, 94
 — регуляторы, 340—348
 — электрические выраженные в децибелах, 332
 — электрической единицы, 13
 Мрамор, 237, 239, 242
 Музыкальные интервалы, 305, 307

Н

Нагаока (формула), 187
 — — поправка на шаг намотки, 192
 — — поправочный коэффициент (таблица и график), 188—191
 — — упрощенная, 191
 Нагрева трансформаторов кривые, 532
 Нагревание медного провода (изменение сопротивления), 120, 142
 Нагрузка, допустимая в амперах, 125—129
 — провода током, 132, 142, 531
 — током воздушных линий, 146
 Нагрузки, допустимые для сопротивлений, 88
 — приведенное сопротивление, 514

Нагрузочная линия в системе анодных характеристик, 517
 Накала данные приемно-усилительных ламп, 407
 Накальная обмотка типового силового трансформатора, 537
 Наибольшая допустимая сила тока в проводах, 146
 Намагничивания кривые, 109
 Направленная антенна, 581
 Направлений правила, 90
 Напряжение анодное приведенное, 373
 — линейное, 98
 — пробойное изоляции проводов, 130
 — пробоя диэлектрика, 237
 — фазное, 98
 Напряжения магнитного единицы, 17
 — регулятор (1 типа), 335
 — электрического единицы, 13
 Напряженности магнитного поля единицы, 17
 — поля расчет, 593
 Напряженность магнитного поля, 103, 106
 Настроенный анод (каскад), 485
 Натр едкий, 633
 Натуральные логарифмы, 75—77
 Нашатырь, 632
 Негативная обратная связи в низкочастотных усилителях, 524
 Негативное изображение, 624
 Недонапряженный режим, 553
 Неизолированные непроволочные сопротивления, 177
 Неискаженная отдаваемая мощность оконечного каскада, 516, 543
 Нелинейность передачи, 297, 370, 518
 Немедкая шкала проводов, 117—118
 Неопределенные интегралы, 40
 Непер, 324, 328
 Непроволочные сопротивления, 172
 — — при высокой частоте, 181
 Несимметричная антенна, 579
 Нижних частот фильтры, 539
 Низкочастотные усилители напряжения, 498
 Низкочастотный дроссель с железным сердечником, 227, 229, 231
 — дроссельный усилитель, 502
 Никелин, 147, 152

Никель, 114
 Нипкова диск, 611
 Нихром, 147, 156
 Номенклатура величин непроволочных сопротивлений RCA, 178
 Номинальная мощность, 543
 Нограмма для определения I , R , E , P , 87
 Норма нагрузки провода током, 144, 531
 Нормальная выходная мощность, 543
 Нормы наивысших допустимых температур в трансформаторах, 143
 — расхода проволоки для подвески линии, 168
 — сопротивления алюминиевых проводов, 167
 — сопротивления биметаллических проводов, 167
 — сопротивления железных проводов при разных температурах, 165
 — сопротивления медных проводов, 166
 — студий (американские и московские), 309, 316
 Нулевые уровни силы звука и громкости, 328—332

О

Объединение управление супергетеродина, 493
 Объемное сопротивление удельное, 238
 Обмотки типового силового трансформатора, 537
 Обобщенная формула расчета реверберации, 312
 Обозначения в области переменных электрических токов, 22
 — геометрические, 28
 — гиперболических функций, 29
 — ламповые, 368
 — математические, 27
 — основных действий, 28
 — относящиеся к электромагнитному полю, 20
 — соотношений, 27
 — тригонометрических функций, 29
 — условные на электроизмерительных приборах, 657
 — чисел, 27

Обратная отрицательная связь в низкочастотных усилителях, 524
 Обратной связи (катушки) включение концов, 222, 224
 Ограничители трансляционные 353—355
 Одноанодные выпрямительные лампы (с лучистым охлаждением), 449
 Однозвенные фильтры (расчет), 538
 Однопроводный фидер бегущий волны, 577
 Однослойная катушка в 200 мкГн, 203, 204
 Однослойные катушки, 185, 187—193
 — — график индуктивности при $D=2$ см, 195
 — — — — $D=2,5$ см, 196
 — — — — $D=3$ см, 197
 — — — — $D=4$ см, 198
 — — — — $D=5$ см, 199
 — — — — $D=6$ см, 200
 — — — — $D=7$ см, 201
 — — — — $D=8$ см, 202
 Одноручечное управление настройкой супергетеродина, 493—496
 Оконечного каскада упрощенный расчет, 514, 519, 523
 Окружности круга, 30
 Октавы первый тон, 307
 Октальный цоколь (расположение ножек), 392
 Олово, 114
 Ом акустический, 291
 — международный, 12, 113
 — механический, 18, 291
 Ома закон, 83—89
 Определение стрелы провеса по числу колебаний, 169
 Определенные интегралы, 41
 Оптимальная реверберация, 313
 Оптические единицы и определения, 609
 Оптического луча расстояние, 603
 Освещенности различные, 610
 Ослабление в децибелах, 323
 Основная терминология испытаний радиовещательных приемников, 543
 Основные индексы, 24
 — частоты музыкальных инструментов, 298, 300
 Остина формула, 595
 ОСТ 515 (международные электрические единицы), 12

- 573 (математические обозначения), 27
- 4123 (размеры проводов), 122, 134, 135
- 5008 (кислотные аккумуляторы), 634
- 5037 (единицы частоты), 16
- 5578 (магнитные единицы), 17
- 5579 (обозначения, относящиеся к электромагнитному полю), 20
- 5580 (обозначения в области переменных электрических токов), 22
- 6052 (механические единицы), 9
- 6174 (обозначения, относящиеся к радиотехнике), 23
- 7242 (акустические единицы), 18
- 7259 (генераторные лампы), 452—453
- 7261 (обозначение выпрямительных ламп), 389
- 7262 (обозначение модуляторных ламп), 388
- 7710 (музыкальный тон), 307
- 7768 (наименования диапазонов), 586
- Отдаваемая мощность, 518
- Отдача генератора, 85
- Отклонение электронного луча в магнитном поле, 617
- Отражатель для динамического громкоговорителя, 315
- Отрицательная обратная связь в низкочастотных усилителях, 524
- Отсечки угол, 552

П

- Параллельное питание передающего каскада, 557
- соединение сопротивлений, 84, 100
- — индуктивностей, 100
- — емкостей, 100
- Параметров лампы зависимость от режима, 385
- Параметры ламповые, 375, 377, 379
- Парафин, 237, 238, 239, 242
- Парафинированная бумага, 237, 238, 242
- Парирование строк, 625
- Пентагрид, 378
- Пентод, 378
- Первичная обмотка типового силового трансформатора, 537

- Перевод долей дюйма (таблица), 34, 35
- частот в длины волн (таблица), 588—593
- Передачика расчет при экранированных лампах, 564
- Передачики, 550—568
- Передачи динамический диапазон, 297
- единица, 324
- коэффициент, 296
- Передающего контура сопротивление, 560
- Передающие антенны коротковолновые, 569—582
- Перекрытие диапазона, 483
- Переменного конденсатора форма пластин, 246, 248, 250
- тока мощность, 93
- — сложные цепи, 101
- Переменный ток, 91
- Период, 291
- Периодической кривой гармоник, 39, 78—82
- Перфлинакс (гетинакс), 237, 238, 242
- Пики мощности звуков, 299
- трансформаторного каскада низкой частоты (график), 512
- Пикинг-контроль, 618
- Пиковая мощность музыкальных инструментов, 301
- — передачи, 305
- Пиковое звуковое давление, 292
- напряжения электролитического конденсатора, 258
- Пикофарада, 15
- Пилообразные сигналы, 618
- Питание антенны напряжением, 579
- Питания трансформатор, см. Силовой трансформатор, 528
- Плавления ток проводов, 148
- — различных проводов (таблица), 157
- температура для реостатных сплавов, 147
- Пластины трансформаторные Ш-19 и Ш-25, 533
- Платина, 114
- Пленка диэлектрическая, 256
- Плотность звуковой энергии, 18, 292
- тока, 144, 145
- Плотности тока в трансформаторных обмотках, 531
- Площади круга (таблица), 30

- Поверхностное удельное сопротивление, 238
 Повышающая обмотка типового силового трансформатора, 537
 Поглощения звукового коэффициент, 313, 314
 Погрешности измерительных приборов, 648
 Подъемная сила электромагнита, 107
 Подмагничивающие ампер-витки, 228
 Подстроечный конденсатор гетеродинного контура супергетеродина, 493
 Показательные функции, 56
 Показательных функций таблица, 57—64
 Поле ускоряющее, 372
 Полезная мощность удвоителя, 555
 Полная проводимость, 102
 Полная проводимость абонентской магистралей, 365
 Полное сопротивление, 102
 — — абонентской точки, 353
 — — линий, 362
 — — трансляционной линии, 356
 Полоса частот пропускаемая, 543
 — — электроакустических устройств, 305
 Полосовой фильтр, 288, 490, 541
 — — трансформаторного каскада выс. частоты, 489
 Полукадровая частота, 620
 Полусухие конденсаторы электролитические, 256
 Поля магнитного единицы напряженности, 17
 — — напряженность 103, 106
 — — напряженность (расчетные формулы), 593
 Помех сила, 594
 Помехи (распределение по частотам), 594
 Поправка на шаг намотки, 192
 Поправочный коэффициент к формуле Нагаока, 189—191
 Порог слышимости, 295, 296
 Последовательное соединение сопротивлений, 100
 — — индуктивностей, 100
 — — емкостей, 100
 Постоянная Больцмана, 478
 — времени затухания колебаний, 271
 — С линий, 361
 — G линий, 362
 — I линий, 361
 — R линий, 361
 — распространения, 362
 — — абонентской магистралей, 363, 365
 Постоянные величины (важнейшие), 32
 — магниты, 112
 — непроволочные сопротивления:
 — — — группы по мощности, 177
 — — — величины сопротивлений, 177—178
 — — — допуски, 177—178
 — — — цветной код, 178
 — — — устойчивость, 179
 — — — собственные шумы, 183
 Построение синусоиды, 91
 Потенциал ионизирующий газов, 372
 Потери в конденсаторах при переменном токе, 239, 242, 621
 — в листовой трансформаторной стали 108
 — в фидере, 573
 — в цепи сетки, 557
 — в электролитиках, 261
 — на гистерезис и токи Фуко, 110
 Потерь угол, 239
 Поток магнитный, 104, 105
 Потока магнитного единицы, 17
 Правила направлений, 90
 Правило штопора, 90
 — Максвелла, 90
 — Ампера, 90
 — Флеминга (правило левой руки), 91
 — правой руки, 91
 Предел болевой, 295, 331, 334
 — слышимости, 295, 331, 334
 Преобразования крутизна (пентагрида), 379, 380
 — коэффициент (пентагрида), 379
 Приближенных вычислений формулы, 41
 Приведенная оркестровая единица, 309
 Приведенное анодное напряжение, 373, 374
 — сопротивление нагрузки, 514
 Прием на рамку (испытание приемника), 549
 — предельный и хороший, 595

- Приемников общая схема испытаний, 543, 545
- Приемно-усилительные лампы постоянного тока, 404—405
- — — переменного тока (4-вольтовой серии), 406
- Приставки для обозначения дробных и кратных единиц, 7
- Пробивное напряжение диэлектрика, 237
- напряжение проводов ПЭШО и ПЭШД, 138—139
- Пробойное напряжение изоляции проводов, 130
- Провеса стрела, 163, 169—170
- Провод медный, 119
- с изоляцией, 121
- Провод эмалированный, 132—133
- ПШО, 134
- ПШД, 135
- ПБО, 136
- ПБД, 137
- ПЭШО, 138—139
- ПЭШД, 138—139
- Провода алюминиевые, 163, 167, 168
- биметаллические, 163, 167, 169
- бронзовые, 162, 166
- железные (стальные), 162, 164, 169
- медные, 162, 166, 169
- для реостатов, 146
- индуктивность, 209—211
- норма нагрузки, 144
- сопротивление при высокой частоте, 149, 157—161
- ток плавления, 148, 157
- Проводимость абонентской точки, 364
- двухпроводной линии, 362
- индуктивная, 102
- емкостная, 102
- полная, 102
- активная, 102
- реактивная, 102
- магнитная, 105
- полная абонентской магистрали, 365
- удельная, 113
- Проводной связи усилительные лампы, 402
- Проводов действующее сопротивление при переменном токе, 149, 157—161
- заграничная номенклатура, 116—118
- марки, 115
- размеры (ОСТ 4123), 122
- сечение, 125—129
- ток плавления (таблица), 157
- Проволочные линии, 162
- Проволочных линий электрические данные, 360, 361
- Прогрессия арифметическая, 38
- геометрическая, 39
- Промежуточной частоты выбор, 492
- — трансформаторы с магнитовым сердечником, 233—235
- Промежуточные волны (ОСТ 7768), 586
- Проницаемость диэлектрическая 238
- лампы, 375
- магнитная, 106
- — начальная, 228
- — переменная, 229
- Прямоволновый конденсатор, 247
- Прямоёмкостный конденсатор, 245
- Прямочастотный конденсатор, 248
- Пучность тока, 569
- Пушпульный каскад (двухтактная схема), 519
- Пьеза, 11
- Работа генератора на нагрузку, 330
- Работы единицы, 9
- электрического тока единицы, 14
- Рабочего режима изменение, 522
- Рабочий режим усилительного каскада на сопротивлениях, 513
- участок анодных характеристик, 383
- Радиянная мера (таблица), 41
- Радиовещательных приемников испытания, 543
- Радиосвязи элементы, 583—608
- Радиосетей типы, 605
- Радиосети волновой коэффициент, 605
- статическая емкость, 605, 606
- Радиочастотные катушки с железным сердечником, 232
- Радиочастотный диапазон, 585
- Режим рабочий усилительного каскада на сопротивлениях, 513
- Разборчивость речи (артикуляция), 301

Развертка, 616
 Разделение сигналов изображения, 625
 Разложение в ряды, 39
 — в ряд Фурье, 39, 78—82
 — изображения, 610
 Размеры проводов (ОСТ 4123), 122
 Разность уровней звуковых мощностей, 19
 Разрывное сопротивление, 119
 — удлинение, 119
 Рамки сопротивление излучения, 606
 Рамочной антенны действующая высота, 606
 Расположение ножек на цоколе лампы, 390, 392, 393, 454
 Распределение волн каирской дифракцией, 587
 Распространение волн (графики американского Бюро стандартов), 598—599
 — волн (таблица Юнга), 600—601
 — длинных волн, 593, 595—597
 — коротких волн, 597—602
 — ультракоротких волн, 602
 Распространения постоянная, 362
 Рассеяния мощность, 383
 Расстояние между пунктами связи, 604
 — оптического луча, 603
 Растворов концентрация, 631
 Растр, 613
 Расстройка контура, 290
 Расход проволоки для подвески линии (нормы), 168
 — энергии в электроизмерительных приборах, 649
 Расчет азимутов, 604
 — активного сопротивления катушки, 218—221
 — диаметра провода по нагрузке (график), 145
 — допустимого режима для постоянных сопротивлений (графики), 174—176
 — катушек на заданную волну, 194—204
 — однозвенных фильтров, 538—542
 Реактивная мощность, 94
 — проводимость, 102
 Реактивные сопротивления, 94, 102
 Реверберации расчет, 310
 — — (обобщенная формула), 312

Реверберация, 293
 — оптимальная, 313
 — стандартная, 293
 Регулирование громкости, 323, 333
 Регулятор мощности акустически компенсированный, 348
 Регулятор напряжения (1 тип), 335
 Регуляторы мощности, 340
 Режим лампы, 385
 — — недонапряженный, 553
 — — удвоительного каскада передатчика, 554
 — — усилительного каскада передатчика, 550
 Режимы рабочего изменение, 522
 Резонанс второй, 512
 Резонанса кривая, 289, 290
 Реостатные сплавы, 147
 — торговые сплавы, 147, 150—151
 Реостатный каскад, см. Усилитель на сопротивлениях, 498
 Реотан, 147, 154
 Ретрансляция телевидения, 625
 Рефлектор, 581
 Рефракция, 293
 Речи разборчивость (артикуляция), 301
 — человеческой частотный состав, 299, 302, 303
 Ричардсона формула, 372
 Ротора конденсатора универсальный метод расчета, 250
 Ртуть, 114
 — хлорная, 632
 Ртутные выпрямители, 458
 — выпрямительные колбы (обозначения), 389
 Ряды (разложение), 39
 Ряд Фурье, 39, 78—82

С

Самовозбуждение, 564
 Самоиндукции единицы, 15
 Саморазряд аккумуляторов, 630
 Сантиметр на длину, 19
 Сантиметровые волны, 586
 Сантиметры (индуктивности), 185
 Света модулятор, 624
 Свеча международная, 609
 Свинец, 114
 Связанные цепи, 283, 288, 488
 Связи коэффициент, 283
 — частоты, 288

Связь автотрансформаторная (каскада выс. частоты), 487
 — емкостная, 284, 560
 — индуктивная, 284, 559
 — междукаскадная, 492—561
 — смешанная, 284, 491
 Связь контура передатчика с антенной, 562
 — магнитная трансформатора промежуточной частоты, 235
 — обратная отрицательная 524
 Сера, 239
 Сердечника силового трансформатора сечение, 530
 Серебро, 114
 Серная кислота, 633
 Сернистая медь, 632
 Сернистый магний, 632
 — цинк, 632
 Сеточные характеристики, 381, 382
 Сеть трансляционная, 355—367
 Сечение проводов, 125—129
 — сердечника силового трансформатора, 530
 Сигнала интерференционного мощность, 543
 Сигналы пилообразные, 618
 Сила звука, 18, 291
 — и громкость звука, 293, 332
 — лошадиная, 11
 — магнитодвижущая, 104
 — подъемная электромагнита, 107
 — помех, 594
 — тока короткого замыкания, 336
 Силового трансформатора расчет, 528
 Силловые трансформаторы (типовые), 536, 537
 Силы звука нулевые уровни, 328
 — единицы, 9
 — магнитодвижущей единицы, 17
 — поля расчет, 593
 — электродвижущей единицы, 13
 Символический метод, 53
 Сименс, см. Мо, 113
 Симметричная антенна, 580
 Синтез изображения, 610
 Синусоиды построение, 91
 Синусы (таблица), 44—47
 Синусов значения от 0° до 1° , 52
 Синфазные вибраторы, 571
 Синхронизации полукладовые сигналы, 622
 — частота, 626

Синхронизация, 616
 Система единиц CGS, 6
 — — MTS, 6
 — — MKS, 6
 — многофазная, 98
 — электромагнитных единиц CGS_{em}, 7, 8
 — электростатических единиц CGS_{es}, 7, 8
 Системы единиц, 5
 Скорость распространения звука, 308
 — — электромагнитных колебаний, 16
 Скофони, 625
 Сложные цепи переменного тока, 101
 Слуха особенности, 297
 Слышимости предел, 295, 331, 334
 Слюда, 237, 238, 239, 242
 Смешанная связь между контурами, 284, 491
 Смещение на сетке генераторной лампы, 553
 Собственная длина волны вибратора, 569, 604
 — емкость катушек, 224—227
 Собственные шумы лампы, 478
 — — сопротивлений, 183
 Соединение «звездой», 99
 — «треугольником», 99
 Соляная кислота, 633
 Сопротивление активное, 102
 — — катушек (расчет), 219—221
 — акустическое, 292
 — алюминиевых проводов (нормы), 167
 — анодного контура генераторной лампы, 553
 — антенного эквивалента, 544
 — биметаллических проводов (нормы), 167
 — внутреннее лампы, 375, 377, 379
 — волновое вибратора, 571
 — — фидера, 571
 — двухпроводной линии, 361
 — (действующее) проводов при переменном токе, 149, 157—161
 — добавочное к вольтметрам, 652
 — емкостное, 94, 102
 — железных проводов при разных температурах (нормы), 165
 — излучения, 570, 606
 — индуктивное, 94, 102
 — — катушек (таблица), 97

- контура передатчика, 560
- контура при резонансе токов, 216
- критическое, 270
- магнитное, 104
- медных проводов (нормы), 166
- металлов и сплавов сравнительно с медью, 148
- механическое, 18
- нагретого провода, 142
- нагрузки приведенное, 514
- на разрыв, 119
- 1 куб. сантиметра непрерывной намотки, 141
- полное, 102
- — абонентской точки, 353
- — линий, 356, 362
- потерь (эквивалентное), 240, 241, 261
- провода при высокой частоте, 149
- реактивное, 94, 102
- удельное, 113, 114
- — объемное, 238
- — поверхностное, 238
- эквивалентное потерям цепи сетки, 563
- Спротивлений допустимые нагрузки, 88
- параллельное соединение, 84, 100
- последовательное соединение, 100
- Спротивления непроволочные, 172
- «Каминского», 173
- «Лилипут», 173
- неизолированные, 177
- изолированные, 177
- электрического единицы, 12
- Сопряжение контуров супергетеродина, 493
- Сотовые катушки, 207—209
- Спектр электромагнитных колебаний, 583
- Сплавы для реостатов, 146, 150—156
- Средне-квадратичное значение тока, 92
- Среднее значение тока, 93
- Среднелинейный (логарифмический) конденсатор, 249
- Средние волны (ОСТ 7768), 586
- Средняя громкость частот речи, 299—303
- мощность передачи, 305
- Срок службы приемно-усилительных ламп, 408
- — электролитического конденсатора, 266, 268
- Сталалюминиевый канатик, 168—170
- Сталь трансформаторная и динамная 108—111
- Стальные (железные) провода, 162, 164, 165, 169
- Стандарт-генератор, 545
- Стандартная антенна (эквивалент для испытаний), 543
- Стандартные сотовые катушки, 209
- Стандартный коэффициент модуляции, 545
- Стандарты общесоюзные, см. ОСТ'ы
- телевизионные, 625
- Статическая емкость радиосети, 605
- Статическое давление, 292
- Стекло (разное) 237, 238, 239, 242
- Стен, 9
- Стенметр, 9
- Стенметр в секунду, 10
- Стильб, 609
- Стоячая волна в фидере, 574
- Стоячие волны, 569
- Стрела провеса, 163, 169—170
- Строк парирование, 625
- частота, 610, 621
- Строки разложения, 610
- Студий расчет, 308, 316
- расчетные нормы, 316
- Сулема, 632
- Супергетеродин СВД-9, 497 (приложение)
- 6Н1, приложение к стр. 497
- Супергетеродина гетеродинные катушки с железным сердечником, 233
- Супергетеродины, 492—497
- Супер-синхронизация, 626
- Супер-эмитрон, 626
- Сургуч, 239
- Сухие конденсаторы (электролитические), 256, 267—268
- Схема двухтактная усилительного каскада передатчика, 554
- испытания приемников, 545
- Колпица, 497, 560
- Хартлея, 497
- Сэбина формула, 312

Т

Таблица децибел, 325—328

— наибольших диаметров для

$$\frac{R_{\sim}}{R_{\infty}} < 1,01, 161$$

— настроек на звуковые частоты, 286—287

— расчетных данных каскада на сопротивлениях, 504—507

— Флетчера распределения мощностей, 299

— частот (основная) 271—282

— Юнга (распространение волн), 600—601

Тангенс угла потерь, 240, 261

— фи катушек, 216

Тангенсы (таблица), 48—51

Тантал, 114

Телеграфная азбука Морзе, 607

Темновой ток, 460

Температура плавления реостатных сплавов, 147

Температурный коэффициент металлов, 114

— реостатных сплавов, 147

Температуры, допустимые в трансформаторах, 143

Тепловое значение силы тока, 92

Терминология испытаний основная, 543

Термоприборы, 644, 654

Термоэлектродвижущие силы различных пар, 654—655

Термоэлементы вакуумные, 656

Тетрода параметры, 377

Типы радиосетей, 605

Тиратроны, 456

Ток линейный, 98

— многофазный, 98

— плавления проводов, 148

— различных проводов (таблица), 157

— переменный, 91

— проводимости электролитического конденсатора, 258, 259, 264

— темновой фотоэлемента, 460

— трехфазный, 98

— фазный, 98

— утечки электролитического конденсатора, 258, 259, 264—268

Тока действующее значение, 92

— тепловое значение, 92

— эффективное значение, 92

— среднеквадратичное значение, 92

— среднее значение, 93

— на ток действие, 91

— переменного мощность, 93

— — сложные цепи, 101

— пучность, 569

— электрического единицы работы, 14

Токов Фуко потери, 110

Томсона формула, 269

Тон (основной) музыкальной настройки, 306

— музыкальный (международный, физический, по ОСТ'у 7710), 307

Торговые реостатные сплавы, 147, 150—156

Тороидные катушки, 207

Трансляционная сеть, 352—367

Трансляционные лампы, 396, 402

— ограничители, 353—355

Трансляционной линии полное сопротивление, 356

Трансформатор выходной оконечного каскада, 515

Трансформатора силового нагрев, 532

— силового расчет, 528

Трансформаторная сталь, 108—111

Трансформаторные пластины, Ш-19, Ш-25, 533

Трансформаторный каскад высокой частоты, 487

— — с полосовым фильтром, 489

— усилитель низкой частоты, 509

Трансформаторных катушек расчет, 532

Трансформаторы силовые (типовые) 536, 537

— нормы допустимых повышений температуры, 143

— промежуточной частоты с магнетитовым сердечником, 233—235

Третьи степени чисел, 33

Треугольник (соединение «треугольником»), 99

Трехсеточная лампа (пентод), 378

Трехфазный ток, 98

Тригонометрические формулы, 42

Тригонометрических функций обозначения, 29

Триода параметры, 375

Трубка Зворыкина, 615

У

Угол отсечки, 552
 — потеря, 239, 242, 261
 — — электролитического конденсатора, 261
 — сдвига фаз, 92
 Уголь, 114
 Угловая частота, 92
 Удвоительный каскад, 554
 Удельная доброкачественность лампы, 380
 — емкость электролитического конденсатора, 257
 — крутизна лампы, 376
 — проводимость 113, 114
 — эмиссия, 372
 Удельное сопротивление, 113, 114
 — объемное сопротивление, 238
 — поверхностное сопротивление, 238
 Удельный вес металлов, 114
 — — электролитов, 628
 Удлинение разрывное, 119
 Ультракороткие волны (распространение), 602
 — волны (ОСТ 7768), 586
 Умножитель электронный, 627
 Универсальная кривая усиления каскада на сопротивлениях, 502
 Универсальные лампы старых выпусков, 409
 — формулы расчета индуктивности катушек, 185—186
 Универсальный расчет формы пластин ротора, 250
 — шунт, 651
 Упрощенных вычислений формулы, 37
 Упругость, 19
 Уравнение Баркгаузена (ламповое), 376
 Уравнений решение, 37
 Уравненный регулятор мощности, 345
 Уровни нулевые акустические, 329—331
 — — электрические, 332
 — — силы звука и громкости, 296, 328—334
 Уровней акустических шкала, 330, 331
 Усиление в децибелах, 323
 — каскада на сопротивлениях (универсальная кривая), 502

— устойчивое резонансного усилителя, 492
 Усиления коэффициент (лампы), 375, 377, 379
 Усилители высокой частоты, 484
 — напряжения низкой частоты, 498
 Усилитель выс. частоты с настроенным анодом, 485
 — — — с автотрансформаторной связью, 487
 Усилитель выс. частоты с трансформаторной связью, 487
 — низкой частоты дроссельный, 502
 — — — на сопротивлениях, 498
 — — — трансформаторный, 509
 Усилительного каскада эквивалентная схема, 476
 Усилительные лампы старых типов, 410
 Усилительный каскад выс. частоты с полосовым фильтром, 489
 — — на сопротивлениях (определение рабочего режима), 513
 — — на сопротивлениях (таблица расчетных данных), 504—507
 — — передатчика, 550
 — оконечный каскад, 514
 Ускоряющее поле, 372
 Условие самовозбуждения, 564
 Устойчивость непроволочных сопротивлений, 179
 — усиления резонансного усилителя, 492
 Уха рабочий диапазон, 296
 Ухо человеческое среднее, 297
 Участок рабочий ламповой характеристики, 383, 384

Ф

Фазное напряжение, 98
 Фазный ток, 98
 — угол, 92
 Фарада международная, 15
 Фарфор, 237, 238, 239, 242
 Феррокарт, 112
 Фехнера (Вебера) закон, 323
 Фи (косинус), 94
 Фибра (разная) 238, 239
 Фидбэк, см. Отрицательная обратная связь, 524
 Фидер, 571
 — со стоячей волной, 574
 — бегущей волны, 576
 Фидера к. п. д., 575

Физические явления в электронных лампах, 371
 Фильтровых дросселей данные, 535
 Фильтры верхних частот, 540
 — заграждающие, 542
 — нижних частот, 539
 — однозвенные (расчет), 538—542
 — полосовые, 288, 490, 541
 — типа «к», 538—542
 — типа «т», 538—542
 Флеминга правило (правило левой руки), 91
 Флетчера таблица распределения мощностей, 299
 Фокусирующая система (электростатическая или электромагнитная), 612
 Фон, 292
 Форма пластин переменного конденсатора, 246, 248, 250
 Формула Баркгаузена, 376
 — Гопкинсона, 105
 — Гуллиа, 492
 — Дешмана, 372
 — Зоммерфельда, 596
 — Кирхгофа (емкость между параллельными дисками) 244
 — Лангмюра, 373
 — Моавра, 56
 — Нагаока, 187—189
 — Остина, 595
 — Ричардсона, 372
 — Сэбина, 312
 — Томсона, 269
 — Чайльда, 374
 — Эйринга, 312
 Формулы алгебраические, 36
 — приближенных вычислений, 41
 — универсальные для расчета индуктивности катушек, 185—186
 — упрощенных вычислений, 37, 38, 41
 Форм-фактор, 93
 Фотоэлемента цезиевого чувствительность, 459
 Фотоэлементы, 459, 460
 Французская шкала проводов, 117—118
 Фуко токов потери, 110
 Функции гиперболические, 64
 — — (график), 66
 — — обозначения, 29
 — — (таблица), 67—71

— показательные, 56
 — тригонометрические, 29, 42
 Функций показательных (таблица), 57—64
 Фурье (разложение в ряд), 39, 78—82

X

Характеристика динамическая, 513, 517
 Характеристики анодные, 381, 383
 — сеточные, 381, 382
 Хартлея (Гартлея) схема, 497
 Хлористый аммоний, 632
 — цинк, 632
 Хлорная ртуть, 632

Ц

Цветной код для постоянных сопротивлений, 178
 Цезиевого фотоэлемента чувствительность, 459
 Целлулоид, 239
 Цепи связанные, 283, 288, 488
 — сетки потери, 557
 — сложные переменного тока, 101
 Цепелин (антенна), 580
 Цепь магнитная, 103
 Церезин, 237, 242
 Цилиндр Венельта, 613
 Цинк, 114
 — хлористый, 632
 Цинковый купорос, 632
 Цоколевка американских стеклянных ламп, 392
 — ламп металлической серии, 392, 462
 — маломощных кенотронов, 454
 — стандартных ламп, 390
 — приемных ламп, 391
 — — стеклянных ламп, 393
 Цоколь октальный (расположение ножек) 392

Ч

Чайльда формула, 374
 Частота, 291
 — второго резонанса, 512
 — длина волны — данные колебательных контуров, 271—283
 — полукадровая, 621

- промежуточная (трансформаторы с магнитовым сердечником), 233—235
- синхронизации, 626
- строк, 610, 621
- угловая, 92
- Частотная градуировка приемников, 545
- характеристика громкоговорителя «Рекорд 1», 319
- характеристика коэффициента передачи, 296
- микрофона, ММ-2, 318
- шкала инструментов и голосов, 300
- Частотное распределение помех, 594
- Частотные характеристики разных динамиков, 319, 320
- Частотный диапазон (акустический), 305, 306
- спектр, 583
- состав человеческой речи, 299
- Частоты высокой усилителя, 484
- перевод в длины волн (таблица), 588—593
- единицы, 16
- звуковые (таблица настроек), 286—287
- музыкальных инструментов, 298, 300
- промежуточной выбор, 492
- связи, 288
- Четырехполосники, см. Регуляторы мощности, 340—348
- Четырехэлектродная лампа, 377
- Чисел квадраты (таблица), 30
- корни квадратные —, 30
- третий степени —, 33
- Число витков на 1 вольт, 529, 531
- — на 1 см, 132—137
- — на 1 см² сечения намотки, 140
- омов в каждом куб. сантиметре непрерывной намотки, 141
- Чувствительность измерительных приборов, 647
- системы, 296
- телепередатчика, 627
- уха, 298
- цезиевого фотоэлемента, 459

Ш

Шаг намотки (поправка к формуле Нагаока), 192

- Шара емкость, 254
- Шеллак, 238, 239
- Ширина пропускаемой полосы частот, 543
- Шифер, 237, 239, 242
- Шкала акустических уровней 331
- плотности Боме, 628
- Шнур витой, 121
- Шнуры марки, 115
- Шот (или шрот) эффект, см. Дробовой эффект, 480
- Штопора правило, 90
- Шумы собственные лампы, 478
- собственные сопротивлений, 183
- Шунт универсальный, 651
- Шунты к амперметрам и гальванометрам, 649

Щ

Щелочных аккумуляторов свойства, 630, 641 (таблица данных)

Э

- Эбонит, 237, 238, 239, 242
- Эквивалент антенный, 544
- Эквивалентное анодное напряжение дробового эффекта, 480
- напряжение шот-эффекта, 481
- — шумов сопротивлений, 183
- — — у сетки лампы, 478
- сопротивление потерь, 240, 241
- Эквивалентный генератор усиленного каскада, 477
- Экранированные катушки, 192—193
- лампы, см. Тетрод, 377
- лампы в передатчике, 564
- лампы старых выпусков, 409
- Электрическая линза 614
- Электрические мощности, выраженные в децибелах, 332
- международные единицы, 12
- Электрического сопротивления единицы, 12
- Электрического тока единицы работы, 14
- Электрической емкости единицы, 15
- мощности единицы, 13
- Электричества единицы количества, 14
- Электродвижущей силы единицы, 13
- Электродинамические измерительные приборы, 643, 648

Электронизмерительные приборы,
643—658
Электролитические конденсаторы,
255—268
Электромагнита подъемная сила, 107
Электромагнитные измерительные
приборы, 643, 648
Электромагнитных единиц система
CGS μ , 7
— колебаний спектр, 583
Электростатических единиц система
CGS e , 7
Электротехнической стали листовой
потери, 108—111
Электрона заряд, 371
Электронная эмиссия, 372
Электронные лампы, см. Лампы
Электронный умножитель, 627
Элементов разложения число в се-
кунду, 671
Элементы воздушной деполяризации,
638
— (гальванические), 628
— радиосвязи, 583
Эмалированный провод, 132
Эмиссия удельная, 372

— электронная, 372
Энгстрема график, 611
Энергии единицы, 9
— запас в катушке, 93
— — в конденсаторе, 93
— звуковой плотность, 18, 292
Эрг, 9
— в секунду, 10
— — на кв. сантиметр, 18, 291
— на куб. сантиметр, 18, 292
Эрстед, 17
Эффект (шот или шрот), 480
Эффективное звуковое давление, 292
— значение тока, 92
Эйринга формула, 312

Ю

Юнга таблица (распространение
волн), 600—601

Я

Яркость различных источников све-
та, 610
Янтарь, 239

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие редактора	3
Глава первая. Обозначения и единицы	5
Глава вторая. Математика и вспомогательные таблицы	27
Глава третья. Основные законы электротехники	83
Глава четвертая. Проволока и сопротивления	113
Глава пятая. Индуктивность и катушки	184
Глава шестая. Емкость и конденсаторы	236
Глава седьмая. Колебательный контур	289
Глава восьмая. Акустика и электроакустика	291
Глава девятая. Децибелы. Регулирование громкости	323
Глава десятая. Расчет трансляционной сети	352
Глава одиннадцатая. Электронные лампы	388
Глава двенадцатая. Приемно-усилительная схема	478
Глава тринадцатая. Ламповый генератор и передатчик малой мощности	550
Глава четырнадцатая. Коротковолновые передающие антенны	569
Глава пятнадцатая. Элементы радиосвязи	583
Глава шестнадцатая. Телевидение	609
Глава семнадцатая. Элементы и аккумуляторы	628
Глава восемнадцатая. Простейшие электроизмерительные приборы	643
Алфавитный указатель	660

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Нужно	По- чье вине
33	2 таблица	2198	2197	авт.
54	4 сверху	$+jy \sin \varphi$	$-jy \sin \varphi$	авт.
92	24 "	равная $2f$	равная $2\pi f$	тип.
99	17 снизу	R, L и	R, L и C	тип.
110	Рис. 3-12 и 3-13		переставить подписи к рис. 3-12 и 3-13	ред.
130	13 снизу	из табл. 4-7	из табл. 4-8	авт.
140	заголовок 2 графа	сечение в $мм$	сечение в $мм^2$	ред.
187	6 сверху	L_c	L_{cm}	тип.
240	11 "	$g\delta$	$tg\delta$	тип.
261	11 сверху	$\approx \varphi$	$\approx 90 - \varphi$	авт.
261	13 снизу	$\approx 1,74 \cdot \delta^\circ$	$\approx 1,74 \cdot \delta^\circ$ (в процентах)	авт.
270	6 "	$I = I_0 \cdot e^{-\alpha T} \cdot \sin \omega t$	$I = I_0 \cdot e^{-\alpha T} \cdot \sin \omega t$	тип.
344	17 сверху	$R = r$ (рис. 9-10)	$R = r$ (рис. 9-9)	авт.
359	13 "	(n_B)	(n_a)	ред.
378	6 "	катоду (рис. 11-1),	катоду,	авт.
391	графа R	CO-183 CO-187	CO-183	авт.
402	5 снизу	C_{a-rg}	C_{a-g}	тип.
406	Строка 4 снизу			
	графа P_{as}	3	10	авт.
410	Заголовок графа P_{as}	mb	bm	авт.
413	Рис. 11-30 правый график	I_a	I_g	авт.
444	1 снизу	$I_p = 0,75$	$I_f = 0,75$	авт.
447	Рис. 11-95 у нижней пунктирной линии	200	250	авт.
466	1 график рис. 11-106	(см. схему рис. 12, 5-E)	(см. схему рис. 12-17-E)	авт.
504	2 сверху	для 6Г7	для 6Г7 (три- больше 100%)	ред.
565	7 "	больше 00%		тип.

Редактор *Н. И. Дозоров*
Техн. редактор *А. А. Базанова*

Сдано в набор 5/II 1939. Подписано к
печ. 26/VII 1939. Издат. № 38. Автор. дог.
№ 375. Инд. 5 — 5. Тираж 10000. Кол.
печ. лист. 43 + 2 вклейки. Учетно-авт.
лист. 45,49. Формат бум. 82 × 110/32.
Уполн. Главл. А-16529. Заказ № 372.

Типография Оборонгиза. Киев, Крещатик, 42