



Р. СВОРЕНЬ

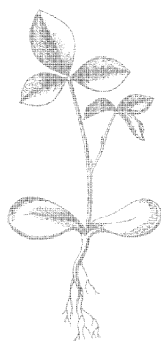
Ваш радиоприемник



ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ВСЕХ. ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ВСЕХ

Р. СВОРЕНЬ

Ваш радиоприемник




ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЗНАНИЕ
1963

СОДЕРЖАНИЕ

А стоит ли знакомиться?	5
Несколько страниц электротехники	9
Почему охрип Бывалов	24
Разговор через переводчика	32
«Гребенка и компас»	40
Это делается так...	47
Один из трех китов	53
Электрические фильтры	62
В мире качающихся маятников	76
Длинные, средние, короткие и УКВ	86
Знакомая табличка «вход»	94
Слоненок становится слонем	101
Действие переносится в космос	105
Настоящий труд в настоящем усилителе	113
Лампы разные нужны, лампы всякие важны	120
Вопросы питания	129
Электронный граммофон	147
В поисках симметрии	158
Непереводимое слово «супергетеродин»	165
Давайте попробуем!	178
«Мы с вами где-то встречались»	184

Автор

РУДОЛЬФ АНАТОЛЬЕВИЧ СВОРЕНЬ

Редактор *В. К. Черникова*

Художеств. редактор *Р. А. Варшамов*

Художник *В. Н. Зуйков*

Техн. редактор *А. С. Назарова*

Корректоры *Е. Э. Ковалевская, В. М. Климачева,*

Л. Л. Брик, Э. С. Патеревская

Сдано в набор 11.IX 1963 г. Подписано к печати 27.XI 1963 г. Изд. № 238.
 Формат бум. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 6,013. Печ. л. 12,0 (+0,25 вкл.).
 Уч.-изд. л. 12,27. А 07619. Цена 37 коп. Тираж 200 000 экз. (1-й завод
 1 — 100 000 экз.). Заказ 2554.

Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

История радио начинается с первого в мире радиоприемника, созданного Александром Степановичем Поповым почти 70 лет назад. За этот, исторически короткий срок радиоэлектроника совершила фантастический скачок, проникла во все области науки, техники, культурной жизни, создала изумительные по универсальности и гибкости средства передачи, переработки и сбора информации.

Даже избалованный совершенной техникой человек XX века не может не удивляться выходящим на грань мечты возможностям радиоэлектронной техники. Квантовый генератор, освещающий с Земли лунную поверхность, телевизионная камера, ведущая репортаж из раскаленной мартиновской печи, вычислительная машина, выполняющая миллион операций в секунду, электронный стимулятор, поддерживающий ритм больного сердца, управляемый по радио космический корабль — разве все это не вызывает восхищения?

Много замечательного можно найти даже в тех электронных аппаратах, к которым мы давно привыкли, с которыми встречаемся на каждом шагу. Возьмем к примеру обычный радиовещательный приемник, размещившийся на вашем столе. Знаете ли вы, что он усиливает мощность попадающих в антенну сигналов примерно в 10^{12} — 10^{14} раз? По усилительным свойствам этот, казалось бы простой, и уже во всяком случае небольшой аппарат может сравниться с фантастическим подъемным краном, который, повинаясь легкому движению руки оператора, поднимает груз в десятки миллиардов тонн (все население нашей планеты весит во много раз меньше).

А возьмите такое качество приемника, как избирательность — способность из многих тысяч одновременно работающих станций выбирать только одну, нужную нам. Если бы подобной способностью обладал человек, то, находясь на большом стадионе в Лужниках, каждый из нас мог бы легко разговаривать с любым из ста тысяч заполнивших трибуны болельщиков. И даже в самые острые моменты матча все остальные голоса просто не были бы слышны. Во всяком случае, голос ближайшего соседа, не говоря уже о более далеких, ослаблялся бы в несколько сот раз.

Высокое качество радиовещательного приемника обеспечено совершенными деталями и эффективными схемами, в первую очередь, различными ламповыми усилителями. В приемнике можно встретить и другие «популярные» элементы и узлы современной радиоэлектронной аппаратуры — генератор, колебательный контур, согласующий трансформатор, делитель напряжения, фильтры. Есть тут много типичных схем, широко ра-

спространенных деталей, общих для всей радиоэлектроники методов преобразования сигналов. Вот почему знакомство с приемником может оказаться прекрасной школой для того, кто решил войти в чудесный мир радио. Опыт многих тысяч радиолюбителей убедительно показывает, что человек, окончивший эту «школу», как правило, приобретает не только стройную систему знаний, но и определенную радиотехническую квалификацию.

Учитывая все сказанное, можно одобрить замысел автора этой книги, решившего рассказать об основах радиоэлектроники, воспользовавшись радиовещательным приемником как «наглядным пособием». Рассматривая принцип действия и схему современного четырехлампового супергетеродина, автор постепенно знакомит с важнейшими радиотехническими схемами и отдельными их элементами, вводит такие фундаментальные понятия радиоэлектроники, как усиление, фильтрация, спектры сигналов, резонанс, электромагнитные колебания, излучение, нелинейные процессы и др.

К сожалению, научно-популярная радиотехническая литература нередко обходит некоторые из этих понятий из-за их сложности и необычности. В результате читатель получает обедненное, а порой просто искаженное представление о важнейших процессах и явлениях и, что особенно неприятно, эти неверные представления еще долгое время мешают при дальнейшем изучении предмета.

В книге «Ваш радиоприемник» сделана достаточно смелая попытка простыми литературными и графическими средствами дать читателю представление о многих «сложных темах». В принципе это несомненно правильный подход. И хотя время от времени автор прибегает к очень уж «облегченной» форме изложения, можно считать, что попытка ему удалась.

Книга «Ваш радиоприемник» — удачный пример того, как можно просто, занимательно и в то же время достаточно конкретно рассказать о радиоэлектронной технике. Эта книга будет полезной не только для тех, кто хочет поближе познакомиться со своим приемником, но в первую очередь для тех, кто испытывает потребность познакомиться с основами современной радиоэлектроники.

**В. СИФОРОВ, член-корреспондент
Академии наук СССР**



А СТОИТ ЛИ ЗНАКОМИТЬСЯ?

Помните, как он впервые появился в вашем доме? В приподнятом настроении вы ехали с ним в такси, а потом легко взобрались на третий или, может быть, на пятый этаж. Дома все в сборе и уже давно с нетерпением ждуг вас — каждый стремится побыстрее открыть дверь, убрать с дороги стул, освободить место для дорогого гостя. И вот наступает торжественный момент. Быстро вскрыта большая картонная коробка, и он выскальзывает из нее прямо на стол. Он — это поблескивающий стеклом, белой пластмассой и зеркальной полировкой дорогих пород дерева новенький радиоприемник, ваш будущий помощник, веселый друг и всезнающий учитель.

Еще мгновение — щелкает выключатель, ярко вспыхивает разноцветная шкала, а по ней медленно ползет тонкая красная стрелка. И вдруг (куда девались массивные каменные стены?) на вашу тихую комнату со всех сторон обрушиваются каскады звуков. Быстро отбивают телеграфную дробь корабельные радисты, запрашивают погоду командиры воздушных лайнеров, переговариваются между собой зимовщики Антарктиды и Арктики.

Едва уловимое движение стрелки, и вы уже в зеленых пар-

ках Вены — скрипки поют старинный вальс Штрауса. Стрелка движется дальше, и буквально каждый миллиметр ее пути приносит новые далекие и близкие голоса. Через пустыни и моря приплыла мелодия жаркой Индии, ее сменяют трели соловья — позывные итальянского радио, слышится быстрая французская речь, с непостижимым спокойствием кто-то комментирует на английском языке футбольный матч, приятный женский голос под аккомпанемент гармонии напевает веселую польскую песенку...

А вот и любимая мелодия. Это, конечно, поет старик Утесов, и самые теплые воспоминания приходят к вам вместе со знакомым с детства голосом. Вспоминаются задумчивые осенние леса Подмосковья, пьянящий аромат лугов в далеких предгорьях Алтая и веселый южный ветер, подгоняющий выдавшую виды рыбацкую шаланду к родному одесскому берегу.

Время близится к полночи... Знакомые голоса Юрия Левитана и Ольги Высоцкой рассказывают о событиях трудового дня страны, ровно отсчитывают время звонкие удары кремлевских курантов и слышно, как торопятся куда-то автомобили по ночной Москве.

Прошло несколько дней, вы уже привыкли к своему приемнику и даже удивляетесь, как это раньше могли обходиться без него. Вы научились быстро находить нужную станцию, точно настраиваться на нее, подбирать «по вкусу» тембр передачи. Но несмотря на все это, приемник продолжает оставаться для вас непонятным чудом, сказочным волшебным ящиком.

Действительно, как это можно простым поворотом ручки за какие-то доли секунды перенестись из одной далекой страны в другую? Почему тысячи одновременно работающих станций не мешают друг другу? Откуда набирает такую силу обычный человеческий голос, слышимый из приемника? Почему днем на средних волнах работает всего две-три станции, а ве-

НЕ ТОРОПИТЕСЬ НА ЛУНУ!..

«Все выше и выше и выше...» — напевает веселый человек с мотком проволоки в руках, поглядывая на верхушки деревьев, на крыши соседних домов и, кажется, даже на далекие звезды. Это энтузиаст-радиолобитель ищет, куда бы пристроить антенну для своего приемника. Рассуждает он, по-видимому, так — чем выше антенна, тем больше энергии отбирает она у пролетающих мимо радиоволн, тем сильнее сигнал на входе приемника, тем громче приемник работает.

Против такого подхода есть серьезные возражения. С увеличением антенны в ней одновременно увеличиваются потери энергии, и порой очень длинная антенна работает ничуть не лучше короткой. В то же время радиовещательный приемник не требует от антенны слишком многого, так как сам прекрасно усиливает слабые сигналы. Реальная чувствительность современного приемника в основном ограничена уровнем помех, для которых, кстати, увеличение антенны так же «выгодно», как и для основного сигнала. Поэтому не торо-

чером — несколько десятков? Как удастся воспроизвести все оттенки звучания симфонического оркестра, в котором играет больше ста человек? И, наконец, каким образом вылавливает приемник из безмолвного эфира все эти тысячи звуков?

Далеко не каждый из радиослушателей — владельцев приемника ответит на эти вопросы хотя бы в самых общих чертах. Но может быть, это и не нужно? Может быть, радиослушателю достаточно знать, чем «заведует» в приемнике та или иная ручка, и не стоит задумываться над сложными физическими превращениями, которые происходят на всем пути от антенны до громкоговорителя?

Слишком много машин сегодня служит человеку — часы, телевизор, электробритва, фотоаппарат, мотоцикл, акваланг, реактивный самолет... Разве успеешь со всеми познакомиться! А потом — какая польза в этом знакомстве? Что может измениться, если во всех подробностях изучить тот или иной аппарат? Разве у радиоинженеров приемники работают лучше, чем у всех других людей? И разве, если что-нибудь случится, нельзя вызвать радиомастера, человека ученого и опытного, который быстро найдет и устранит любую неисправность?

Все эти возражения, конечно, имеют определенный смысл, особенно если учесть, что даже не очень глубокое знакомство с работой приемника потребует немало времени и энергии. И все же, выслушав множество «против», нужно выслушать и «за». Хотя бы несколько.

Начнем с того, что человек не всегда принимает только самые практичные решения. Ну скажите, какая практическая польза в посещении театра или чтении стихов? Что дает «для жизни» изучение истории или знакомство с воззрением древних философов? Зачем читать книги об атомном ядре, если ты не физик, или о звездах, если ты не космонавт? И вместе с тем мы не жалеем времени на то, чтобы как можно больше

питесь забивать гвозди в Луну и пристраивать к ней антенну. Небольшой — длиной в несколько метров — кусок медного провода, уложенный на пол, подвешенный под потолком или в крайнем случае выведенный через окно на улицу, — вот все, что нужно для вашего приемника.

Во многих приемниках есть собственные, то есть расположенные внутри ящика, антенны — рамочная для диапазона УКВ и магнитная для длинных и средних волн. Магнитная антенна — небольшой ферритовый стержень с катушкой — обладает заметной направ-

ленностью. Поэтому с помощью специальной ручки всякий раз нужно направлять антенну в сторону принимаемой станции, подобно тому, как вы поворачиваете свои акустические «антенны» — уши в сторону собеседника. Для того чтобы управлять магнитной антенной, карта и компас не нужны. Лучший ориентир — громкость приема. Кстати, направленные антенны — это основной элемент различных радионавигационных приборов, например, радиоконюска, который уверенно ведет самолет в сторону радиомаяка.

узнать об окружающем нас мире, о последних достижениях науки, о чувствах поэтов, о далеком и пока чужом Космосе. «Хочу все знать» — это не просто красивая фраза, эта первейшая человеческая потребность. Так может ли в наших знаниях оставаться белым пятном такая большая и важная область науки, как радиоэлектроника? И можно ли упустить такой удобный случай для знакомства с ней, как появление в доме радиоприемника?

Второе «за» носит более практический характер. Кем бы вы ни были, чем бы ни занимались, рано или поздно на вашем пути встретятся радиоэлектронные приборы — новая колхозная радиостанция или электронный «советчик» металлурга, прибор, регистрирующий биотоки мозга, или реле времени, автомат для контроля качества продукции или полупроводниковая система зажигания автомобильного двигателя. Многим из вас придется овладеть каким-то комплексом знаний по радиоэлектронике, а некоторые, по-видимому, чувствуют потребность в этих знаниях уже сейчас. Но как самому разобраться во всех этих сложных вещах? Здесь опять на помощь вам может прийти радиоприемник.

В современном приемнике можно встретить большинство основных элементов любой электронной аппаратуры. Это конденсаторы, сопротивления, катушки, трансформаторы, различные ламповые усилители, генератор, выпрямитель переменного тока, фильтры и многое другое. Внимательно познакомявшись с их ролью и работой в радиоприемнике, вы сделаете очень важный шаг на пути в радиоэлектронику.

И наконец третье «за», совсем уже деловое. Неужели нужно вызывать радиомастера для того, чтобы сменить лампу или предохранитель? А приятно ли со страхом и абсолютным непониманием смотреть, как кто-то копается во «внутренностях» вашего приемника? Конечно, каждый радиослушатель не может быть радиомастером — это не очень нужно и далеко не просто. Однако есть целый ряд простейших ремонтных и профилактических работ, которые вполне можно делать самому.

Эта книга написана для того, чтобы помочь вам познакомиться с радиоприемником. В ней вы найдете рассказы о том, как происходит радиопередача и радиоприем, по какой схеме строится приемник, как работают отдельные его узлы и детали. Если читать эту книгу, вооружившись карандашом, бумагой, электропаяльником и набором радиодеталей, то к концу может оказаться, что вы не только поймете, как работает ваш купленный в магазине радиоприемник, но и сами научитесь конструировать простейшие приемники.

Одним словом, если хотя бы одно из приведенных выше трех «за» вдохновило вас на знакомство с радиоприемником, то скорее переворачивайте страницу — и смело в путь.



НЕСКОЛЬКО СТРАНИЦ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Заниматься электроникой, не зная основ электротехники, невозможно, точно так же, как нельзя с завязанными глазами играть в футбол. И хотя вы подробно изучали электрические явления на уроках физики в седьмом, а многие и в десятом классе средней школы, не вредно будет кое-что повторить еще раз.

Конечно, если бы мы стали знакомиться с велосипедом или даже с автомобилем, нам не пришлось бы предварительно повторять основы механики, вспоминать, что такое трение или скорость, ось или рычаг. С механическими явлениями человек сталкивается буквально с первых дней своего существования и привык считать их вполне понятными.

С электричеством мы по-настоящему познакомились сравнительно недавно — оно широко применяется в быту и промышленности всего несколько десятилетий. Может быть, через некоторое время люди настолько привыкнут к электричеству, что уже в детстве будут знать и даже «чувствовать» закон Ома или правило правой руки. Но сегодня многим из вас, по-видимому, еще нужно освежить в памяти основы электротехники перед тем, как идти на штурм «чудес» радиоэлектроники.

Помимо хорошо известных нам массы или объема, вещество может обладать и другими свойствами. К их числу в первую очередь относятся совершенно особые электрические свойства или, как принято говорить, электрические заряды.

Электрические заряды бывают двух сортов, один из них условно назван «положительным» (+), а другой — «отрицательным» (—). Хочется еще раз подчеркнуть слово «условно». В данном случае обычный, известный из арифметики смысл знаков «+» и «—» не имеет никакого значения. С таким же успехом можно было бы обозначать заряды вопросительным и восклицательным знаками или точкой и запятой.

Электрические свойства можно встретить буквально повсюду — в натертой о шерсть гребенке, в ослепительной вспышке молнии, в раскаленной спирали электроплитки, в сокращающейся сердечной мышце. Откуда такая универсальность? Кто он, этот воздесущий носитель электрического заряда?

Для ответа на эти вопросы нам придется заглянуть в мир атома. Там мы найдем мальчайшую порцию отрицательного электричества — заряд электрона, с огромной скоростью вращающегося вокруг атомного ядра. В самом ядре имеются такие же порции положительных зарядов — ими обладают тяжелые и как бы прилипшие друг к другу частицы — протоны. Электрических зарядов, меньших, чем у электрона и протона, в природе пока не обнаружено и поэтому заряд этих частиц называют единичным. Правда, единица эта слишком мала и пользоваться ею на практике — это примерно то же самое, что измерять в микронах расстояние между городами. Практическая единица электрического заряда — это кулон (κ), представляющий примерно 6 300 000 000 000 000 000 ($6,3 \cdot 10^{18}$) зарядов электрона или протона.

АЛФАВИТ РАДИСТОВ

Слова записывают буквами, о машине подробно рассказывает ее чертеж, а для того, чтобы представить себе сложный электронный прибор, например радиоприемник, необходимо познакомиться с его схемой. На схеме условными обозначениями показаны главные детали прибора, показано, в какие электрические цепи они объединяются, как связаны между собой. Познакомьтесь с некоторыми «буквами» радиотехнического алфавита, с условными обозначениями, применяемыми при составлении схем. Здесь приведены обозначения, которые чаще других

встречаются в массовой радиолобительской литературе.

	ПРОВОД		ЛАМПОЧКА
	СОЕДИНЕНИЕ		МИКРОФОН
	ПЕРЕСЕЧЕНИЕ		ГОЛОВНОЙ ТЕЛЕФОН
	ПРОВОД В ЭКРАНЕ		ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ
	ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ		АНТЕННА
	ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ		ЗАЗЕМЛЕНИЕ, СОЕДИНЕНИЕ С ШАССИ
	ХИМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТОКА		ЗВУКОСИМАТЕЛЬ
	ГЕНЕРАТОР		ЗАЖИМ
	ДВИГАТЕЛЬ		ГНЕЗДО
	РАЗЪЕМ		

Много условных обозначений вы встретите дальше, в частности, на рисунках 7, 13, 19, 21, 24 и др.

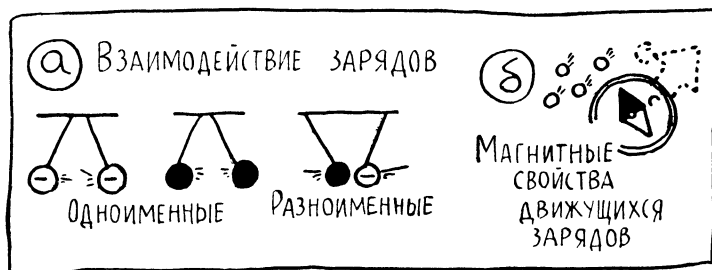


Рис. 1.

Если в стакан кипятку бросить кусок льда, то произойдет своего рода нейтрализация, в стакане не останется ни льда, ни кипятку. Они превратятся в обычную воду комнатной температуры. Подобно этому нейтрализуют друг друга одинаковые положительный и отрицательный электрические заряды. Если каким-то образом объединить электрон (—) и протон (+), то полученный «гибрид» вообще не будет обладать электрическим зарядом. Разумеется, наше сравнение весьма условно. В частности, никаким разделением воды на две части нельзя вновь получить лед и кипяток, в то время как электрический заряд — свойство исчезающее.

В нормальных атомах вокруг ядра «бегает» столько же электронов, сколько протонов в этом ядре, а поэтому число единичных положительных и отрицательных зарядов одинаково. Такие атомы, так же, как и состоящие из них вещества, нейтральны, то есть в целом не обладают электрическими свойствами. Но стоит только убрать с орбиты один-два электрона, как равновесие нарушится и весь атом в целом получит положительный заряд.

При этом, конечно, появится положительный электрический заряд и у вещества, состоящего из таких наэлектризованных атомов. Натирая куском шерсти гребенку, мы просто вырываем из ее атомов электроны, которые сразу же переходят на шерсть. Оба предмета электризуются: гребенка приобретает положительный заряд, шерсть — отрицательный.

Простейшие опыты показывают, что обладающие электрическим зарядом тела и частицы — их для краткости называют просто электрическими зарядами — взаимодействуют друг с другом. Одноименные заряды (+ и + или — и —) отталкиваются, а разноименные (+ и —) притягиваются (рис. 1, а). Естественно, притягиваясь или отталкиваясь, заряды могут передвигаться в пространстве.

Во время движения электрический заряд приобретает еще одно замечательное свойство, которое называют намагниченностью, или магнетизмом (рис. 1, б). Под действием маг-



Рис. 2.

нитных свойств тела и частицы тоже взаимодействуют друг с другом—притягиваются либо отталкиваются подобно электрическим зарядам. Пример: два движущихся электрона будут отталкиваться под действием электрических зарядов, но одновременно могут притягиваться под действием магнитных сил.

Где бы вы ни встречали магнитные свойства — в стрелке компаса, электромоторе или, наконец, на полюсах нашей планеты,— знайте, что эти свойства всегда являются следствием тех или иных движений электрических зарядов. С другой стороны, перемещая относительно магнита нейтральное в электрическом отношении тело, например кусок провода, можно вызвать его электризацию (стр. 34). Все это говорит о том, что электрические и магнитные явления тесно связаны друг с другом и являются различными проявлениями единой электромагнитной формы существования материи.

Вспомнив «азы» электротехники, мы можем переходить к более конкретным вещам. Сейчас разговор пойдет о работающих зарядах.

Работа всегда связана с движением — мощные потоки воды вращают рабочее колесо гидротурбины, выбрасываемые ракетным двигателем газы выталкивают на орбиту многотонный космический корабль, удар камня о камень высекает искру. А нельзя ли заставить движущиеся электрические заряды выполнять полезную работу? Конечно, можно! Удобнее всего это сделать в так называемой электрической цепи, примером которой может служить обычный карманный фонарик (рис. 2).

Любая электрическая цепь содержит нагрузку, соединительные провода и генератор или, как его еще называют, источник тока. Основной процесс в генераторе — это осуществляемая тем или иным способом электризация. В батарейке, например, электризуются два рабочих тела, два электрода — цинковый и угольный. Химические реакции «вырывают» электроны из атомов угля и перебрасывают их в цинк. В результате такой электризации на каждом из электродов появляется весьма ощутимая сила, способная притягивать либо отталкивать заряды, то есть способная заставить их двигаться... Она так и называется — электродвижущая сила, или сокращенно

э. д. с. Единицей длины служит метр, единицей веса — грамм, а единицей э. д. с. — вольт (*в*). Если нужно, используют более мелкие единицы — милливольт и микровольт, равные соответственно тысячной и миллионной доле вольта (стр. 14).

Величина э. д. с. измеряется специальным прибором — вольтметром, который имеет два входных провода. Один из них подключают на «+» батареи, другой на «—». Вольтметр устроен так, что показывает ту силу, с которой «+» выталкивает, а «—» притягивает единичный положительный заряд. Если говорить более строго, то вольтметр показывает работу, которую сможет выполнить заряд в один кулон на пути от «+» к «—». При э. д. с. 1 *в* каждый кулон зарядов, проходящих по цепи, выполняет работу в 1 джоуль (стр. 22).

Второй важный элемент электрической цепи — нагрузка, в нашем примере — лампочка. Сюда приходят заряды от генератора и здесь они совершают полезную работу. Но прежде чем говорить о том, как это делается, несколько слов о третьем элементе цепи — проводах, соединяющих генератор с нагрузкой (в карманном фонаре их роль выполняет металлический корпус и жестяные лепестки — выводы батарейки).

Зачем нужны провода? Почему от генератора к нагрузке заряды не могут двигаться без них прямо по воздуху? Здесь появляется слово, которое будет неотступно следовать за нами на всем пути знакомства с приемником. Слово это — сопротивление.

Сопротивлением, а точнее электрическим сопротивлением, называют способность той или иной среды противодействовать движению зарядов. Характер этого противодействия может быть самым различным. Летит электрон, сталкивается с встречным атомом и останавливается — сопротивление. Пролетает электрон вблизи сильного магнита и сворачивает со своего пути — опять сопротивление. Или вот еще пример противодействия. Несколько электронов вылетело из отрицательного электрода батарейки (там они в избытке!) и образовали

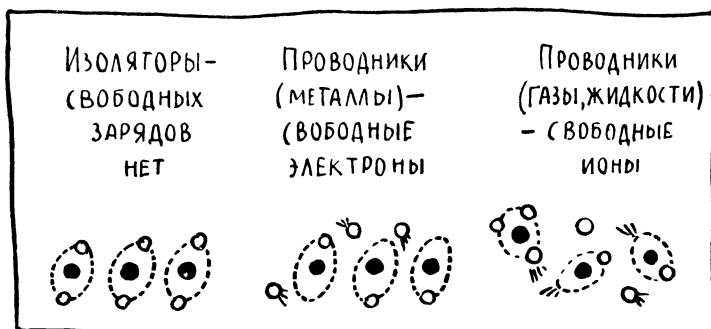


Рис. 3.

вокруг него так называемое электронное «облако». Это облако своим отрицательным зарядом отталкивает назад другие электроны и буквально не дает им выйти из электрода.

Из-за различных видов противодействия свободный, безостановочный пробег зарядов в любом веществе весьма мал. И трудно сказать, каким образом удалось бы использовать электрическую энергию, если бы в природе не было целой группы веществ, получивших общее название проводников.

Вообразите, что вам нужно пройти по длинному коридору, беспорядочно заваленному столами, ящиками, стульями и другими громоздкими вещами. Сделав несколько шагов, вы, конечно, устанете и, наверное, даже остановитесь. Это немного напоминает движение единичного заряда в воздухе или другой подобной среде.

А теперь другая картина. Тот же коридор, с таким же «большим сопротивлением». Но на этот раз вы будете преодо-

РАЗМЕННАЯ КАССА

Недавно в Москве открылся молочный магазин, где все товары продаются только автоматами. Есть в этом магазине и кассир-автомат для размена денег. Если вы опустите в кассу 20 копеек, он выдаст вам, например, два гривенника, опустите полтинник — получите 10 пятакков.

Подобным разменом часто приходится заниматься при решении задач, связанных с электрическими цепями. В этом случае размени-

вают единицы измерения — амперы, вольты, фарады и др. Сколько микроампер в миллиампере? Как выразить напряжение в вольтах, если оно указано в милливольтх? Что больше: 0,01 микрофарады или 1000 пикофарад? На подобные вопросы вы сможете легко ответить, ознакомившись с приведенной ниже таблицей. Совершенно очевидно, что все приставки, указанные в первом столбце, встречаются не только в электрических единицах, но и в любых других единицах измерения.

Наименование приставки	Сокращенное обозначение		Отношение к главной единице
	русское	международное	
тера	<i>T</i>	<i>T</i>	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
гига	<i>G</i>	<i>G</i>	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
мега	<i>M</i>	<i>M</i>	$10^6 = 1\,000\,000$
кило	<i>к</i>	<i>k</i>	$10^3 = 1\,000$
гекто	<i>г</i>	<i>h</i>	$10^2 = 100$
дека	<i>да</i>	<i>da</i>	$10^1 = 10$
деци	<i>д</i>	<i>d</i>	$10^{-1} = 0,1$
санти	<i>с</i>	<i>c</i>	$10^{-2} = 0,01$
милли	<i>м</i>	<i>m</i>	$10^{-3} = 0,001$
микро	<i>мк</i>	<i>μ</i>	$10^{-6} = 0,000\,001$
нано	<i>н</i>	<i>n</i>	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
пико	<i>п</i>	<i>p</i>	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$

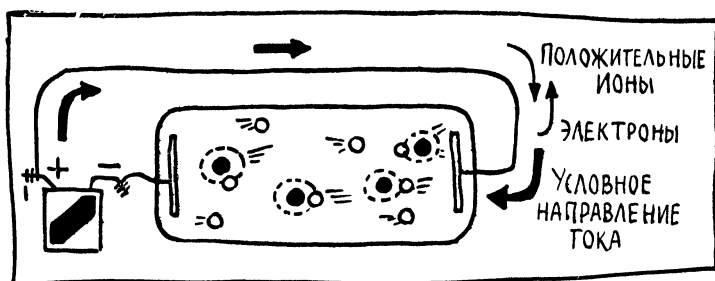


Рис. 4.

левать его не в одиночку, а вместе с несколькими товарищами. Они разместятся равномерно вдоль всего коридора и по команде начнут двигаться в одну и ту же сторону. Вскоре после того, как вы войдете в коридор, из него уже выйдет тот ваш товарищ, который стоял ближе других к выходу, и, если не задумываться над тем, кто вошел, а кто вышел, то можно будет считать, что человек прошел через коридор. Такое коллективное преодоление препятствий напоминает то, что происходит с электронами в проводниках.

К числу проводников относятся металлы, уголь, графит, некоторые растворы солей, кислот, газы в особом, ионизированном, состоянии. Отличительная черта всех проводников — наличие свободных электрических зарядов. Напомним, что свободными заряды называют потому, что они могут свободно перемещаться в пространстве под действием каких-либо сил, например, тепловых или электрических. Иногда это свободные «вырвавшиеся» из своих атомов электроны (рис. 3), иногда и сами атомы с недостающими или, наоборот, лишними электронами. Такие атомы называют положительными и отрицательными ионами (рис. 3).

Подключим к концам проводника источник э. д. с., например батарейку, и в этом проводнике сразу начнется непрерывное движение зарядов — если в проводнике есть свободные электроны, то они будут двигаться от минуса батареи к ее плюсу. Вот такое упорядоченное движение свободных зарядов под действием электрических сил называется электрическим током.

Единица измерения тока — ампер (a) базируется на уже известной нам единице заряда — кулоне. Если за секунду через какой-либо участок цепи проходит кулон электрических зарядов, например $6,3 \cdot 10^{18}$ электронов, то ток в этом участке равен одному амперу.

Картина движения электронов напоминает описанное чуть раньше коллективное преодоление препятствий в коридоре. Сами электроны движутся очень медленно, но ток начинается

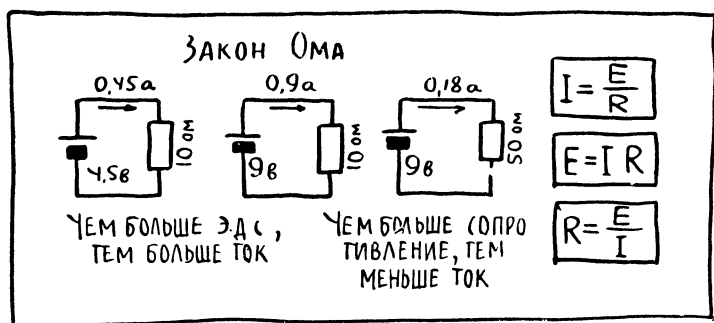


Рис. 5.

практически одновременно во всей цепи. При этом избыточные электроны с «минуса» батареи сразу же начинают выталкиваться в проводник, а часть свободных электронов сразу же переходит на «плюс» из проводника. Для того чтобы остановить ток, достаточно разорвать цепь — ввести в нее участок из изолятора, например воздуха, в котором, как известно, свободных зарядов практически нет.

Внутри батареи за счет химических реакций электроны вновь перебрасываются с плюса на минус, чтобы оттуда вновь отправиться в свое путешествие по проводнику и, может быть, вновь добраться до плюса. Совершенно ясно, что если в проводнике есть свободные положительные заряды, то они будут двигаться в обратном направлении, а если заряды обоих «сорт» — то в проводнике одновременно возникает два тока, противоположных по направлению. В дальнейшем для того, чтобы не вводить излишнюю путаницу, рассматривая различные электрические цепи, мы не будем вдаваться в подробности, не будем разбираться в том, каких зарядов больше, какие из них в основном создают ток, а всегда будем считать, что в проводнике есть только свободные положительные заряды, например положительные ионы, и что только они и создают ток. Поэтому мы всегда будем считать, что направление тока в проводнике одно — от плюса к минусу (рис. 4).

Проходя по проводнику, заряды, и в частности электроны, «натыкаются» на неподвижные атомы и сталкиваются друг с другом. В результате этих соударений проводник нагревается и при достаточно высокой температуре светится.

Вернемся к нашему примеру — электрической цепи карманного фонаря, и попытаемся выяснить, от чего зависит величина тока и развиваемая им мощность. Прежде всего нужно отметить, что чем больше э. д. с., то есть чем с большей силой свободные электроны выталкиваются с минуса и притягиваются к плюсу, тем быстрее эти электроны движутся, тем

большее их количество вовлекается в общий поток, тем, следовательно, больше и ток в цепи.

Кроме того, величина тока зависит и от размеров самого проводника — в нашем примере от нити лампочки. По толстому проводнику электронам легче пройти, чем по тонкому, по короткому — легче, чем по длинному. Многое зависит еще и от материала — от количества свободных электронов, которые могут создавать ток, от расположения атомов, с которыми электроны сталкиваются на своем пути. Одним словом, различные проводники по-разному способствуют появлению тока или, если пользоваться общепринятой терминологией, по-разному препятствуют ему. Здесь, кстати говоря, можно сказать и так и этак. Все зависит от точки зрения, от того, с чего начинать свои рассуждения — с идеального изолятора или с идеального проводника.

Для учета влияния проводника на величину тока введен специальный коэффициент, получивший название «сопротивление». Само это слово красноречиво говорит, что чем больше сопротивление проводника, тем сильнее он препятствует движению зарядов, тем, следовательно, меньше ток. Иногда для удобства вычисления вместо сопротивления пользуются обратной величиной — проводимостью.

Основные соотношения, к которым мы пришли, четко и лаконично выражены в известном законе Ома: чем больше э. д. с., тем больше ток, чем больше сопротивление (чем хуже проводимость), тем меньше ток (рис. 5). В качестве единицы сопротивления выбран ом (ом). Таким сопротивлением обладает проводник, в котором под действием э. д. с. 1 в возникает ток 1 а. Естественно, что если под действием одного вольта ток будет меньше ампера, то значит сопротивление проводника больше, чем 1 ом.

Без особых доказательств ясно, что чем тоньше проводник и чем он длиннее, тем больше его сопротивление. Если взять несколько проводников из разных металлов, но с одинаковыми

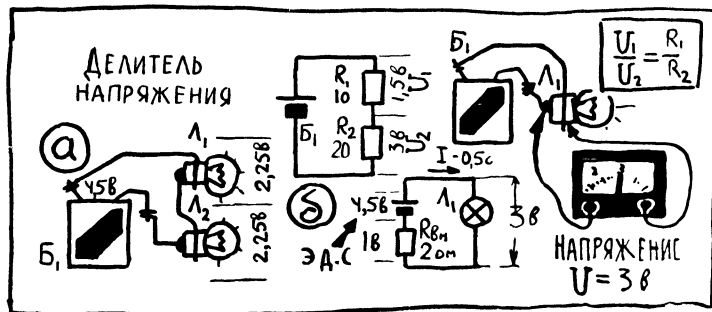


Рис. 6.

размерами, то окажется, что наименьшим сопротивлением обладает серебро, затем идут медь, алюминий, сталь и другие. Очень высокое сопротивление у специальных сплавов — ни хрома, константана, никелина и других.

Давайте несколько усложним нашу «подопытную» цепь — подключим к батарейке две лампочки, соединенные последовательно (L_1 и L_2 , рис. 6, а), то есть так, чтобы ток последовательно проходил через одну, а затем через другую. Если вы проделаете этот нехитрый опыт, то сами увидите, что лампочки горят очень слабо, настолько слабо, что свечение их нитей можно увидеть только в темноте. И это вполне понятно. Общее сопротивление двух соединенных последовательно лампочек в 2 раза больше, чем одной, — их можно рассматривать как одну лампочку с нитью удвоенной длины. Ну, а раз сопротивление цепи возросло, то, согласно закону Ома, ток в ней уменьшился, уменьшилось число работающих электронов, а значит и выполняемая ими работа. Одним словом, когда в цепи была лампочка L_1 , то вся электродвижущая сила батарейки действовала только на ней. Теперь эта величина распределится между двумя лампочками и на каждой из них будет действовать лишь половина э. д. с.

Сейчас настал момент ввести еще одно очень важное понятие — напряжение. Это та часть э. д. с., которая достается после дележа какому-нибудь участку цепи. В нашем случае на каждой лампочке действует напряжение 2,25 в (рис. 6, а), а если бы лампочек было три, то каждой из них досталось бы

ПОДСЧИТАЛИ — РАССМЕЯЛИСЬ

Перед нами простая задача. Электрическая лампочка с сопротивлением 405 ом нормально светится при токе 500 ма. На какую сего рассчитана эта лампочка? Расчет ведем по одной из формул закона Ома (рис. 5). Умножаем ток на сопротивление, то есть 500 на 405, и получаем . Вот это уже действительно смешно — по нашим расчетам, к лампочке нужно подвести напряжение 220 000 в! Неужели формула неверна? Ошибку, конечно, допустили мы сами, причем ошибку грубую и

смешную. Ток нужно было выразить просто в амперах или резюльгат в милливольтах. Для того чтобы вы в дальнейшем не смеялись над результатами своих расчетов, предлагаем вам табличку, где в вертикальных столбиках указаны «комплекты» единиц, которыми нужно пользоваться при расчетах по формулам закона Ома, а также при вычислениях мощности.

Если под руками нет этой таблички и вы встречаете затруднения в выборе единиц, то начинайте «от печки» — все величины выражайте в основных единицах: амперах, вольтах, омах, джоулях и ваттах.

в	кв	кв	в	в	мв	мв	мкв	мв	вт	мвт	мвт	мквт
а	а	ма	ма	мка	ма	мка	мка	мка	в	в	мв	мв
ом	ком	Мом	ком	Мом	ом	ком	ом	ком	а	ма	а	ма

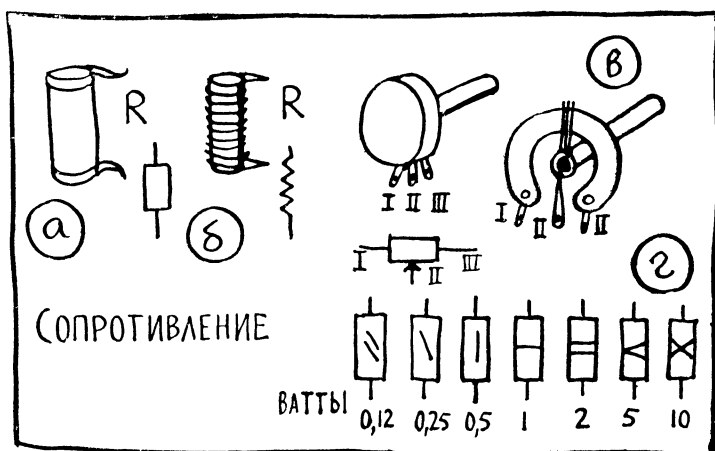


Рис. 7.

уже 1,5 в. Ну, а что будет, если собрать цепь из двух лампочек с разными сопротивлениями, например, одну с сопротивлением 10 ом, а другую 20 ом? На первой из них окажется напряжение 1,5 в, на второй — 3 в (рис. 6, б).

Объясняется это очень просто. Ток во всех участках цепи должен быть одинаковым — сколько электронов вышло с «минуса», столько же должно войти в «плюс». Это условие обязательное. Если оно не выполняется, значит на одном из участков цепи заряды куда-то исчезают или, наоборот, откуда-то появляются. Ни то, ни другое, разумеется, невозможно. Для того чтобы ток во всей цепи был одинаковым, необходимо, чтобы на участках с большим сопротивлением заряды подталкивались с большей силой. Именно поэтому э. д. с. батареи автоматически распределяется так, что на участках с большим сопротивлением действует большая часть э. д. с. И еще один вывод, имеющий для нас большое практическое значение, — цепь из соединенных последовательно нескольких элементов фактически представляет собой делитель напряжения. Примером такого делителя может служить обычная елочная гирлянда, состоящая из большого числа низковольтных лампочек, соединенных последовательно.

Иногда делитель напряжения возникает помимо нашего желания. Вы, наверно, обращали внимание на то, что в карманном фонаре нормально горит лампочка, рассчитанная на 3,5 в, в то время как э. д. с. батарейки равна 4,5 в. То, что лампочка не только не сгорает, но даже не перегревается, объясняется очень просто — напряжение на ней никогда не превышает 3,5—3,8 в. Куда же девается остальная часть э. д. с.?



Рис. 8.

Батарейка не только создает электродвижущую силу, но и частично расходует ее. Внутренние цепи батареи сами обладают сопротивлением, которое так и называется внутренним сопротивлением. Именно на нем теряется часть э. д. с. (рис. 6, б). Чем дольше работает батарея, тем больше ее внутреннее сопротивление (ничего не поделаешь — такова природа химических процессов, которые происходят в электролите и электродах). Из-за этого постепенно уменьшается напряжение, которое достается лампочке, она светится все более слабо.

В радиоэлектронной аппаратуре очень часто возникает необходимость погасить какую-то часть имеющейся э. д. с., создать делитель напряжения. Для этой цели используются специальные детали — сопротивления. Они бывают разные — проволочные (рис. 7, б), непроволочные (рис. 7, а), постоянные (рис. 7, а, б), переменные (рис. 7, в), разной конструкции и размеров, рассчитанные на разную мощность (рис. 7, г).

Переходим к следующему опыту. Давайте параллельно одной из двух лампочек, соединенных последовательно, подключим третью (L_3 , рис. 8, а). Параллельное соединение часто называют шунтированием. Шунтировать в переводе на русский язык означает создавать обходной, параллельный путь. В данном случае действительно создается обходной путь для тока — в точке б ток разветвится — часть его пойдет по L_2 , а часть — по L_3 . При этом в каждой из двух параллельных ветвей ток окажется очень слабым, и обе лампочки практически светиться не будут. Но зато лампочка L_1 будет гореть намного ярче, чем до подключения шунта (L_3). Дело в том, что общее сопротивление двух параллельно включенных лампочек вдвое меньше, чем одной, — включить две лампочки параллельно это то же самое, что взять одну с более толстой нитью. Ну, а раз сопротивление какого-нибудь участка цепи уменьшилось (в нашем случае это участок бв), то на нем действует меньшая часть э. д. с. и поэтому возрастает напряжение, которое достается лампочке L_1 .

Между прочим, если бы сопротивление лампочек L_2 и L_3 было неодинаковым, то по ним пошел бы и разный по величине ток. При параллельном соединении всегда выполняется такое правило: чем меньше одно из сопротивлений, тем большая часть тока в него ответвится (рис. 8, б). Одним словом, ток старается идти по пути наименьшего сопротивления.

Закон Ома соблюдается не только для простейшей, но и для любой сложной цепи, а также для каждого ее участка в отдельности. Так, в частности, для того, чтобы определить общий ток, потребляемый от батареи, нужно прежде подсчитать общее сопротивление всей цепи, а затем производить вычисления как обычно — по закону Ома. Ток I в любом участке цепи можно также подсчитать по закону Ома, если известно напряжение U на этом участке и его сопротивление R . Отсюда можно сделать важный логический вывод: чем больше ток, проходящий по какому-нибудь сопротивлению, тем больше и действующее на нем напряжение (рис. 9). Это очень хорошо иллюстрируется предыдущим примером. Подключив третью лампочку, мы уменьшили сопротивление одного из последовательных участков цепи (участок $бв$), а значит, и ее общее сопротивление. При этом естественно увеличился общий ток (закон Ома!) и, значит, увеличилось напряжение (иногда еще говорят: падение напряжения) на лампочке L_1 , по которой этот общий ток проходит.

В заключение этой главы несколько слов о работе и мощности.

Мы с вами говорили, что э. д. с., а значит и напряжение на каком-либо участке цепи, характеризует ту силу, которая заставляет свободные заряды двигаться и таким образом создает электрический ток. Нужно признать, что это не очень строгая формулировка — она скорее создает образ, чем дает четкое определение. Строго говоря, напряжение, или э. д. с., — это работа, которую сможет выполнить источник тока, перемещая заряды по цепи. Напомним, что единица работы в прак-

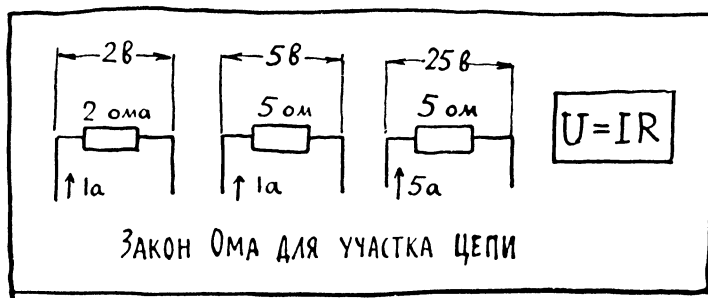


Рис. 9.

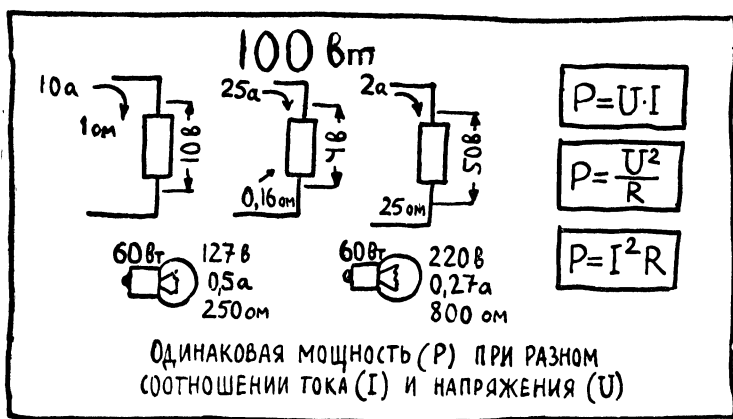


Рис. 10.

тической системе единиц — это джоуль (дж). Он соответствует поднятию груза в 102 г на высоту 1 м, то есть равен 0,102 килограммометра (кгм). Так вот, если, перемещая по цепи заряд в 1 к, источник выполняет работу в 1 дж, то э. д. с. такого источника равна одному вольту. Аналогично определяется и вольт напряжения на участке цепи. Совершенно ясно, что чем меньше силы, которые двигают заряд (первое определение), то есть чем меньше его работоспособность (второе определение), тем меньше и напряжение.

Мощность во всех случаях — это работа, отнесенная к единице времени. Единицей мощности служит ватт (вт), который показывает, какая работа в джоулях выполняется за одну секунду. Очень просто подсчитать мощность, выделяемую на каком-нибудь участке электрической цепи. Для этого нужно напряжение на этом участке умножить на величину проходящего по нему тока. Поскольку напряжение — работа в джоулях, которая приходится на один кулон, а ток в амперах — число кулонов за одну секунду, то произведение этих величин даст мощность в ваттах.

Мощность является характеристикой как генераторов, так и потребителей электрической энергии. В первом случае она говорит о том, что может дать генератор, чего можно от него ожидать. Во втором случае имеется в виду мощность, которую может поглотить тот или иной элемент цепи. Так, если к лампочке, рассчитанной на 200 вт, подвести 500 или даже 300 вт, то она перекалится и выйдет из строя. Точно так же существует предельно допустимая мощность, при которой обычное сопротивление еще в состоянии рассеять со своей поверхности выделяющееся в нем тепло. При большей мощности сопротивление сильно перегреется и в итоге сгорит.

Очень важно еще раз подчеркнуть, что мощность в одинаковой степени зависит и от тока и от напряжения. Это значит, что одну и ту же мощность можно получить при большом токе и малом напряжении или, наоборот, большом напряжении и малом токе (рис. 10).

Вот мы с вами и выполнили программу-минимум — вспомнили основные элементы электротехники, без которых практически невозможно было бы знакомиться с приемником. Нам, правда, нужно будет еще кое-что вспомнить о переменном токе и об электромагнитной индукции. Но с этим мы легко справимся «по ходу дела», когда будем разбирать, как происходит радиопередача и радиоприем, как работают различные приемники и отдельные их узлы.



ПОЧЕМУ ОХРИП БЫВАЛОВ

Наряду со множеством загадочных процессов, которые происходят в радиоприемнике, есть один, не вызывающий никаких сомнений,— это создание звуковых колебаний. Только очень маленькие дети, ну, скажем, от трех до пяти, могут поверить, что в футляре спрятались человечки, которые поют, играют и разговаривают. Что же касается детей постарше, то им эту сказку рассказывать не стоит. Они понимают, что в приемнике с помощью каких-то специальных устройств удастся «подражать» настоящим голосам артистов, воспроизводить звонкие переливы флейты или многоголосье большого оркестра.

Следует прямо сказать, что разместившаяся в приемнике фабрика синтетического звука не так-то проста. Для того чтобы понять, как она работает, надо прежде всего знать, что такое звук и чем отличаются одни звуки от других.

Вы тронули гитарную струну, она пришла в движение и увлекла за собой окружающий воздух. Теперь во все стороны от струны со скоростью около 330 метров в секунду расходятся звуковые волны — непрерывно перемещающиеся области сжатого и разреженного воздуха. Все это немного похоже

на обычные волны, которые расходятся по поверхности во все стороны от брошенного камня — участок с наибольшим давлением воздуха чем-то напоминает гребень волны, участок с наименьшим давлением — седловину. Кстати, в толще воды с помощью специальных излучателей можно создать и настоящие звуковые волны сжатия и разрежения, распространяющиеся широким фронтом. Сейчас уже точно установлено, что именно так переговариваются рыбы, обсуждая свои рыбьи дела. Звуковые волны могут возникать в любом твердом, жидком или газообразном веществе — в металле, бетоне, водяных парах, в потоке нефти. Их нельзя создать только в абсолютной пустоте — там просто нет вещества, которое могло бы сжиматься и разрезаться. Если, повторяя известный опыт со звонком, вы поместите приемник под большой стеклянный колпак и откачаете оттуда воздух, приемник ваш замолкнет, хотя все его узлы будут по-прежнему работать исправно.

Важнейшей характеристикой звука является его частота — число колебаний за одну секунду. Единицей частоты служит герц (*гц*), соответствующий одному колебанию в секунду. Этой единицей пользуются при измерении частоты любых колебаний, независимо от их физической природы. Время, в течение которого происходит полный цикл колебания, называется периодом.

Самая толстая струна гитары колеблется сравнительно медленно — с частотой 144 *гц*. Она создает такие же медленные, или, как обычно говорят, низкочастотные, звуковые колебания. Последняя, самая тонкая, струна создает значительно более высокий звук, его частота — 576 *гц*. Прижимая эту струну к грифу, то есть фактически укорачивая ее (чем короче струна, тем быстрее она колеблется), можно еще повысить частоту звука.

Разные люди обладают различными способностями слышать высокие и низкие звуки, однако в большинстве случаев нижняя граница определяется частотами 16—20 *гц*, а верхняя — 18—20 *кгц*. За этими границами уже находятся неслышимые звуки — инфразвуки, частота которых ниже 16 *гц*, и ультразвуки, частота которых выше 20 *кгц*.

Когда мы сталкиваемся с реальными звуками и, в частности, с музыкой или речью, то частота уже не может служить единственной характеристикой звуковых колебаний. Для того чтобы это стало понятней, вспомните, что одна и та же нота, то есть звук одной и той же частоты, у разных музыкальных инструментов звучит совершенно по-разному. Более того, в ряде случаев вообще невозможно говорить о частоте звука. Как, например, определить частоту звука человеческой речи? И вообще, что в данном случае нужно понимать под частотой, если разные по высоте мужские и женские голоса одинаково произносят ту или иную букву?

Мы подошли к очень интересной характеристике звука — его спектральному составу, но прежде чем двигаться дальше, нам необходимо будет провести небольшую подготовительную работу — научиться понимать и самим строить графики.

Повесьте за окном термометр, каждый час отмечайте его показания и затем попробуйте рассказать, как менялась температура в течение суток. Рассказ ваш будет выглядеть примерно так: «В семь часов вечера температура была $+2$ градуса, в восемь часов повысилась до $+3$ градусов, а в девять вновь понизилась до $+2$. Затем понижение температуры пошло быстрее, в десять часов было ноль градусов, в одиннадцать — -3 и так далее». Не правда ли, однообразно? А что, если бы таким способом описывать изменение температуры за неделю или за месяц? Нет, это не годится.

Для того чтобы наглядно показать изменения какой-либо величины — электрического тока, температуры, отклонения маятника или годового производства стали, пользуются специальным рисунком-графиком. Его основа — две перпендикулярные линии, названные осями. Горизонтальную ось размечают в единицах времени, и она похожа на развернутый в длину циферблат часов. Вертикальную ось размечают в единицах той величины, изменение которой нужно описать.

Поскольку мы собираемся описывать изменение температуры, то вертикальную ось нужно будет разметить в градусах так, чтобы она напоминала шкалу обычного термометра. Теперь на поле графика можно делать отметки — против каждого деления времени отмечать соответствующее значение температуры. В результате появится целая серия точек, а когда мы соединим их, то получим сплошную линию, которая как раз и покажет, как меняется температура. Эта линия называется кривой. Так и говорят: «Кривая пошла вниз — температура падает» или «Кривая пошла вверх и пересекла ось времени — температура поднялась выше нуля». Посмотрев на график, на ход кривой, можно сразу определить, какова была температура в различные моменты времени, как она менялась, каким был характер этого изменения.

Подобным же образом можно получить своеобразную летопись звука — график, показывающий, как изменяется давление в какой-либо «озвученной» точке пространства, например, вблизи колеблющейся струны. Только не подумайте, что такой график можно построить с помощью карандаша, бумаги и секундомера — даже при низких частотах весь цикл звуковых колебаний длится какие-то тысячные доли секунды. Для регистрации таких быстрых процессов служит специальный прибор — электронный осциллограф. Именно с его помощью удалось рассмотреть графики самых различных звуков.

На рисунке 11, а, б вы видите два графика одного и того же звука — это нота «ля» 1-й октавы (частота 440 гц), «испол-

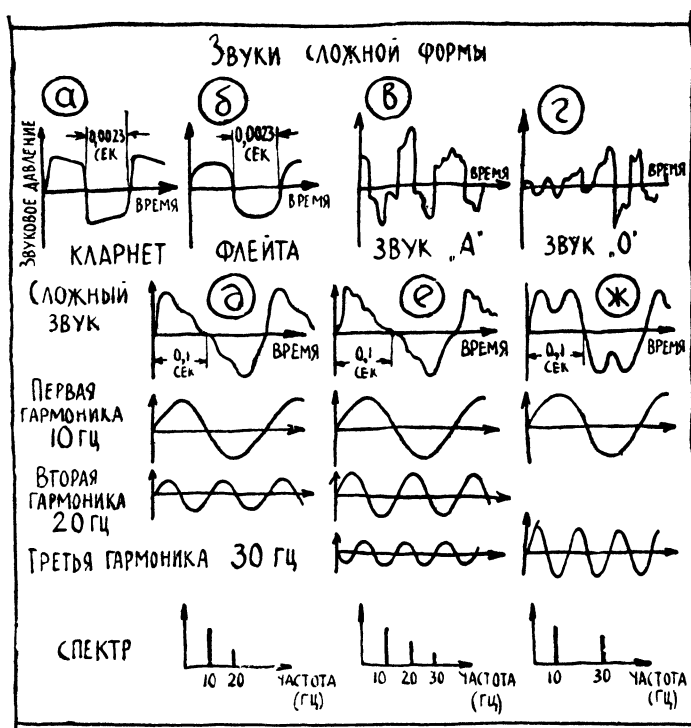


Рис. 11.

ненная» на флейте и кларнете. При построении графиков сверху от оси времени откладывались давления больше нормального (сжатие), книзу от этой оси давление меньше нормального (разрежение). Расстояния до излучателей звука были подобраны так, что амплитуды колебаний, то есть наибольшее сжатие или наибольшее разрежение, оказались одинаковыми. Одинаков период колебаний — это мы оговорили в самом начале, а кроме того, это прекрасно видно из самих графиков.

Внимательно посмотрите на графики. Кроме периода и силы звука, вы обнаружите еще одну его важную характеристику. Это — форма кривой, которая показывает, как меняется звук, с какой скоростью звуковое давление растет, насколько резко уменьшается, «уверенно» ли оно изменяется и т. д. и т. п.

Все эти особенности как раз и отличают одинаковые по частоте звуки, придают им, как говорят музыканты, различную тембровую окраску. Взгляните на график двух различных звуков человеческой речи (рис. 11, в, г). Здесь форма кривой самая главная характеристика, так как именно она отличает эти звуки, например «а» от «о».

Вам, наверное, интересно узнать, как наш слуховой аппарат отличается звуки с различными формами кривой. Ведь слушаемая музыкальные инструменты, мы не вспоминаем ни о каких графиках и вместе с тем прекрасно чувствуем, когда играет рояль, а когда трамбон. Начнем с более простой, но очень похожей задачи.

Представьте, что необходимо точно измерить объем бесформенной гранитной глыбы. Несколько упрощенных методов по какой-то причине не подошли, и вы решили разрезать глыбу на кубики, измерить объем каждого из них, а затем просуммировать все эти объемы. Сначала вы вырежете большой, основной куб, в который войдет основная масса гранита, затем из оставшихся кусков нарежете кубы средней величины и, наконец, не дав пропасть ни одному осколку, ни одной крупинке камня, превратите их в тысячи маленьких кубиков, которые, если их определенным образом сложить, точно воссоздадут сложный рельеф глыбы.

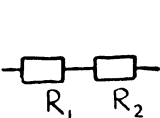
Примерно таким же образом в слуховом аппарате чело-

10 + 10 или 20?

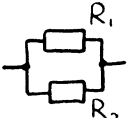
Есть такая смешная загадка-шутка: «Что лучше — две монеты по 10 копеек или одна в 20?» Оказывается, два гривенника иметь лучше — если одну монету потеряешь, хоть другая остается. Подобную загадку можно придумать для сопротивлений и конденсаторов. Ответ на загадку будет примерно такой же, как и на предыдущую, но только шутки уже никакой не будет — иметь два сопротивления по 10 *ком* действительно лучше, чем одно в 20 *ком*.

Во-первых, каждое из них можно использовать как самостоятельную деталь, то есть как сопротивление 10 *ком*. Соединив сопротивления последовательно, мы получим уже новую деталь — сопротивление 20 *ком*. И, наконец, при параллельном соединении у нас окажется еще одна деталь — сопротивление 5 *ком*.

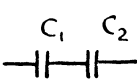
Вот несколько формул для подсчета общего сопротивления и общей емкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов и сопротивлений.



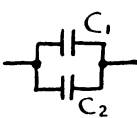
$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$$



$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



$$C_{\text{общ}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$



$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2$$

Для одинаковых конденсаторов и сопротивлений ($R_1 = R_2$ и $C_1 = C_2$)

$$R_{\text{общ}} = 2R_1 \quad R_{\text{общ}} = \frac{R_1}{2} \quad C_{\text{общ}} = \frac{C_1}{2} \quad C_{\text{общ}} = 2C_1$$

Мощность, которая приходится на каждое сопротивление, рассчиты-

вается отдельно по известным формулам (рис. 10).

века решается задача анализа звуков сложной формы. Каждый такой звук можно представить себе как сумму каких-то более простых составляющих, своего рода «кубиков», которые, если их сложить, во всех тонкостях воспроизведут определенный сложный звук. Роль таких составляющих могут играть звуки различной частоты и силы, имеющие определенную, желательно, конечно, простую, форму кривой. Но какую форму лучше выбрать для наших составляющих? «Треугольную», «квадратную», «двугорбую»? Ведь для измерения объема гранитной глыбы в качестве составляющих можно было бы использовать шары, параллелепипеды, октаэдры и многие другие формы. Но мы выбрали куб, потому что его объем измерить проще всего. А из чего исходить при выборе формы кривой для звуковых составляющих? Какая форма окажется наиболее удобной?

Решать эту задачу не придется — ее уже решила сама природа. Она выбрала синусоидальную форму.

Синусоида — это кривая, которую легко получить в результате довольно простых тригонометрических построений — она является графиком определенных тригонометрических зависимостей. Но этим не ограничивается значение синусоиды. С ней связан целый ряд важнейших процессов, например таких, как излучение света, колебания маятника, генерирование переменного тока. Если вы построите графики, которые описывают эти, а также многие другие явления, то во всех случаях получите одну и ту же кривую — синусоиду.

Чем же объясняется такая универсальность синусоиды? Какие общие черты различных процессов отражает она?

К сожалению, мы с вами не можем подробно останавливаться на этом интересном вопросе и вынуждены ограничиться лишь общими положениями. Синусоиду называют гармонической кривой, и этим сказано многое. Она действительно очень гармонична, не имеет каких-либо разрывов, скачков, неожиданных изменений или, наоборот, монотонных ровных участков. Вначале кривая резко нарастает, но затем постепенно «успокаивается» и рост ее все заметнее тормозится. Наконец, все силы иссякли — остановка, кривая достигла наибольшего значения. Это так называемая амплитуда, после которой сразу же начинается отступление — кривая идет вниз. Сначала медленно, как бы сопротивляясь, а затем все быстрее и с максимальной скоростью проскочив нулевое значение, попадает в отрицательную область. Здесь все повторяется сначала: постепенный рост (но теперь уже отрицательных значений), амплитуда, отступление и опять переход через нуль в положительную область.

Отмеченное нами на «житейском» языке достоинство синусоиды — ее гармоничность, имеет четкие математические обоснования. Можно строго доказать, что синусоидальный, гармо-

нический характер изменения является наиболее простым, наиболее естественным для самых различных физических процессов, точно так же, как прямая линия определит кратчайшее расстояние между двумя точками в любых ситуациях, на любых геометрических объектах.

В нашем слуховом аппарате имеется довольно сложная система, которая сразу же расчленяет любой звук сложной формы на простейшие синусоидальные, или иначе, гармонические составляющие. Совершенно ясно, что для разных звуков будет получаться различный спектр, или, проще говоря, различный набор этих составляющих, подобно тому, как в предыдущем примере каменные глыбы различной формы должны быть представлены разными наборами кубов и кубиков. В частности, будут получаться синусоидальные составляющие с разными частотами, разным соотношением амплитуд. Вот простой, точнее, сознательно упрощенный пример.

Уже знакомый нам звук «ля», если он исполнен на флейте, содержит гармонические составляющие с частотами 440, 880 и 1320 *гц*, причем амплитуды этих составляющих имеют следующие соотношения — 1 : 0, 5 : 0, 1. Последнее означает, что амплитуда второй синусоидальной составляющей в 2 раза, а третьей в 10 раз меньше, чем амплитуда первой. Тот же звук, если его получить от кларнета, состоит из таких же по частоте составляющих, но уже с другим соотношением амплитуд, например 1 : 0, 2 : 0,01. Гитара даст более широкий спектр — в нем будет уже 5 составляющих — кроме указанных выше трех частот, можно будет обнаружить еще 1760 и 2200 *гц*. Короче говоря, главное отличие одних звуков от других точно отражается в их спектре — в количестве синусоидальных составляющих, в их частотах и амплитудах (рис. 11, *д, е, ж*).

Обратите внимание на то, что в нашем примере частоты синусоидальных составляющих кратны основной частоте — частоте звука «ля». Это весьма типичное явление, с которым можно встретиться в подавляющем большинстве случаев. Составляющие с кратными частотами называют гармониками и нумеруют в зависимости от соотношения частот. Так, частота 440 соответствует первой гармонике, 880 — второй, 1320 — третьей и т. д. Одним словом, номер гармоники показывает, во сколько раз ее частота больше, чем частота основного колебания, то есть того звука, который мы стараемся представить в виде суммы гармоник.

Из всего, что мы говорили, можно сделать очень важный вывод. Для того чтобы создать копию какого-либо звука, нужно создать звук с кривой той же формы, или, иначе, с таким же спектральным составом. Наш слуховой аппарат, куда входит также и «быстродействующая счетная машина», — особый отдел мозга, ведающий слуховыми восприятиями и анализом звуков, не только с высокой степенью точности разделяет лю-

бой звук на гармонические составляющие, но и сразу же производит анализ полученного спектра — определяет частоты составляющих и соотношение их амплитуд. Таким образом мы и различаем отдельные сложные звуки.

Для характеристики возможностей нашего слуха приведем несколько цифр. Мы отличаем синусоидальные составляющие уже в том случае, когда их частоты разнятся всего на несколько десятых долей процента. Например, установлено, что при звуке средней громкости человек может отличить частоты 997 и 1003 гц от частоты 1000 гц. Наш слух воспринимает звуки самой различной громкости. В частности, самый сильный звук, который мы в состоянии выдержать и который находится на самом пороге «болевого ощущения», и самый слабый звук, который мы уже едва улавливаем, по своей мощности отличаются один от другого в миллиарды раз. А вот характеристика чувствительности — мы слышим такие слабые звуки, которые создают давление на барабанную перепонку с силой всего 0,00000003 грамма! Под действием этих звуков сама барабанная перепонка колеблется с «размахом» не более одной десятимиллионной доли миллиметра!

Вся эта изумительная по точности и чувствительности система появилась в результате многовековой эволюции. Она позволяет человеку хорошо ориентироваться в окружающем мире, собирать о нем много ценной информации.

И все же несмотря на очень высокую чувствительность нашего звукового приемника, он не позволяет людям поддерживать непосредственную связь друг с другом на расстояниях больше, чем несколько сот метров, а иногда, например возле бурного водопада или на перроне метрополитена, и нескольких десятков сантиметров. Происходит это потому, что звуковые волны по мере продвижения вперед очень быстро затухают, теряют свою энергию. Кроме того, услышать слабый звук нам, как правило, мешают разные посторонние шумы. И, наконец, скорость звука слишком мала даже для масштабов нашей, как сейчас любят говорить, маленькой планеты. Если бы и удалось построить линию дальней акустической связи, то даже короткий разговор по такой линии занял бы несколько дней, а то и несколько месяцев. Так, москвич, разговаривая с жителем Владивостока, мог бы получить ответ на свой вопрос только через двадцать часов.

Когда думаешь о недостатках линий акустической связи, почему-то вспоминается, как охрип Бывалов — один из героев кинокомедии «Волга-Волга». Он пытался с берега разговаривать с пассажирами застрявшего посреди Волги парома и так громко кричал, что очень быстро сорвал голос. Непосредственная звуковая связь уже при сравнительно небольших расстояниях становится невозможной.



РАЗГОВОР ЧЕРЕЗ ПЕРЕВОДЧИКА

Итак для передачи сообщений на большие расстояния звуковые волны непригодны. Во-первых, они слишком быстро растрачивают свою энергию, во-вторых, движутся слишком медленно. Оба эти недостатка легко устраняются в линиях электрической связи, где переносчиком сообщений является электрический ток.

Простейшим представителем систем электросвязи может служить уже знакомый нам карманный фонарик. Установите батарейку и выключатель у себя на столе, а лампочку с помощью длинных проводов введите в комнату к своему товарищу, и действующая модель телеграфа готова. Стоит вам замкнуть выключатель, как в другой комнате тотчас же загорится лампочка. Это значит, что электрический сигнал достиг цели. Теперь остается договориться, на каком условном языке будут передаваться сообщения. Можно, например, замыкать цепь на короткие отрезки времени, посылать в линию, а значит и пропускать через лампочку импульсы тока. В этом случае появляется много различных способов кодировать сообщения. Условимся, например, так: одна вспышка лампочки

означает «Приходи в гости», две вспышки — «Иду к тебе», три — «Не забудь, что завтра воскресенье, встречаемся на остановке троллейбуса и едем на стадион».

Есть другой путь, и вы его прекрасно знаете, — это азбука Морзе, или, как ее называют еще иначе, телеграфная азбука. В ней каждой букве, каждой цифре, каждому знаку препинания соответствует определенная комбинация коротких и длинных импульсов тока — точек и тире. Существует и другой пространственный код — код Бодо, в котором используются различные комбинации одних только точек и пауз между ними.

Телеграфная передача очень напоминает разговор с помощью двух переводчиков — сначала мы переводим слова на язык условных знаков — точек и тире, затем превращаем эти знаки в электрические сигналы, то есть, образно говоря, переводим их на электрический язык. В этом отношении телефон — система более простая и, конечно, более удобная. Здесь нет никаких промежуточных превращений — в электрический сигнал преобразуются сами звуковые волны, соответствующие тем или иным словам. Прибор, который осуществляет такой перевод на электрический язык, называется микрофоном.

Чаще всего встречаются два типа микрофонов — угольный и электродинамический (динамический). Если не вдаваться в подробности, то можно сказать, что первый из них — это просто коробочка с угольным порошком, который с помощью двух плоских электродов включается в электрическую цепь последовательно с обычной батареей (рис. 12). Когда вы говорите перед микрофоном, то звуковые волны воздействуют на угольный порошок. Любое изменение звукового давления меняет плотность порошка, а с изменением плотности меняется и его электрическое сопротивление. Чем сильнее прижаты друг к другу крупинки угля, тем легче двигаться электрическим зарядам, тем, следовательно, меньше сопротивление порошка. Ну, а если меняется сопротивление цепи, то по закону Ома меняется и ток в ней. При этом изменение тока в точности повторяет все изменения сопротивления, а значит и все изменения звукового давления. Так, если на микрофон попадает звук с частотой 400 *гц*, то ток в цепи будет изменяться гакже с частотой 400 *гц*. Если произнести перед микрофоном какое-либо слово, а затем построить два графика — график звука и график тока в микрофонной цепи, то форма кривой на обоих графиках окажется одинаковой. Одним словом, микрофон в точности переводит звук на «электрический язык», создает своего рода электрическую копию звука.

Это преобразование нужно нам лишь для того, чтобы с помощью тока передать сообщение по проводам. Совершенно ясно, что на другом конце линии необходим еще один «переводчик» — нужно совершить обратное преобразование, то есть с помощью изменяющегося тока получить звук. Такой обрат-

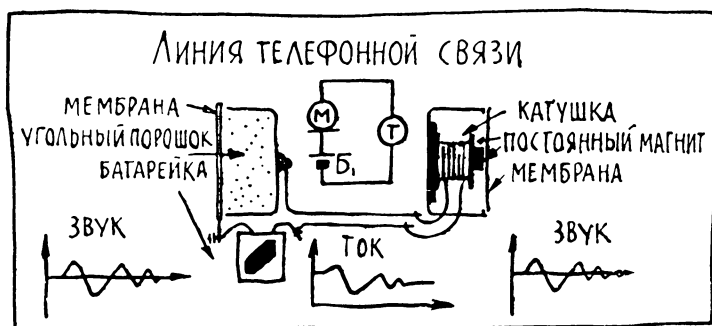


Рис. 12.

ный перевод может совершить простейший прибор, в быту называемый наушником, а в литературе головным телефоном или просто телефоном.

Основой телефона являются две соединенные последовательно катушки с большим числом витков медного провода и сердечниками в виде постоянных магнитов. К катушкам, точнее к слегка выступающим сердечникам, прилегает тонкая стальная пластинка — мембрана. Когда по катушке телефона проходит ток, то сердечник дополнительно намагничивается и сильней притягивает к себе мембрану. В простейшей линии телефонной связи наушник (телефон) можно включить последовательно с микрофоном и батареей. В этом случае при изменении тока, который проходит через микрофон, меняется и ток в катушке телефона — во всех участках последовательной цепи течет один и тот же ток. При этом, естественно, меняется и сила притяжения мембраны к сердечнику, мембрана колеблется и создает звуковые волны. Все движения мембраны будут в точности следовать за изменениями тока в цепи. Если, например, ток в цепи изменяется с частотой 400 *гц*, то мембрана создаст звук, имеющий частоту также 400 *гц*. Достаточно точно сохранится и спектральный состав звука, хотя, откровенно говоря, в этом отношении телефон весьма далек от совершенства.

Кроме угольного микрофона и наушника, «переводчиками» могут служить более совершенные электродинамические системы — динамический микрофон и динамический громкоговоритель. Работают эти, казалось бы, разные приборы на одном и том же принципе и содержат одинаковые основные узлы. Это прежде всего сильный постоянный магнит, расположенная между его полюсами легкая катушка (ее обычно называют звуковой) с небольшим числом витков и прикрепленный к этой катушке диффузор, изготовленный из специального материала, очень напоминающего бумагу или тонкий картон (рис. 13).

Еще в начале XIX века замечательный английский физик

Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, которое сейчас используется практически во всех типах электрогенераторов и двигателей. На этом явлении основана также работа электродинамического микрофона и громкоговорителя. Первый из них можно считать своеобразным генератором, второй — двигателем.

Явление электромагнитной индукции можно коротко описать так. Если в магнитное поле поместить проводник и затем каким-то образом менять это поле, то на концах проводника появится электродвижущая сила. Менять магнитное поле можно по-разному, в том числе, перемещая магнит относительно проводника или, что то же самое, перемещая проводник относительно магнита. Именно это и происходит в динамическом микрофоне. Под действием звуковых волн диффузор микрофона колеблется. Вместе с диффузором движется в магнитном поле звуковая катушка, и в результате электромагнитной индукции на ней появляется э. д. с. При этом величина э. д. с. и характер ее изменения полностью определяются характером движения диффузора, то есть в конечном итоге звуковыми волнами. Таким образом, микрофон довольно точно «переводит» звук на «электрический язык», используя энергию звука, создает электрический ток. Этим микрофон и похож на генератор, который вырабатывает электрическую энергию также за счет механической работы, например работы, которую выполняет расширяющийся пар или падающая вода.

Громкоговоритель, как мы уже отмечали, похож на электродвигатель — к нему подводится электрическая энергия и он превращает ее в механическую работу, двигая диффузор.

Электромагнитная индукция — явление обратимое. При движении проводника в магнитном поле на нем наводится переменная э. д. с. и, наоборот, под действием переменной

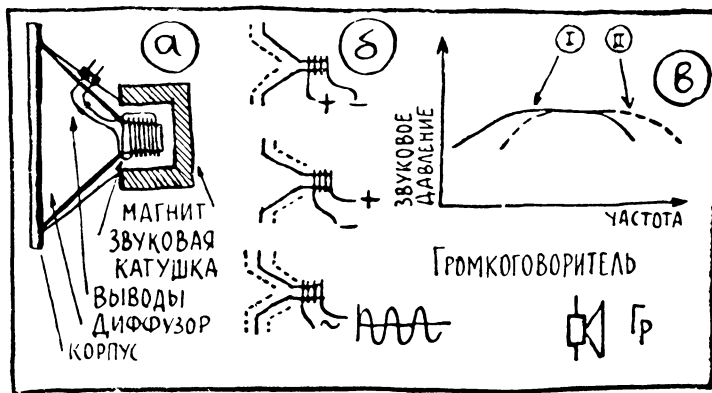


Рис. 13.

э. д. с. проводник начинает двигаться в магнитном поле. Последнее объясняется тем, что проводник, по которому течет ток, обладает магнитными свойствами (стр. 11) и поэтому взаимодействует с постоянным магнитом точно так же, как взаимодействуют друг с другом (притягиваются или отталкиваются) два магнита. В результате такого взаимодействия проводник, а в нашем случае это звуковая катушка, колеблется в магнитном поле, увлекает за собой диффузор, который и создает звуковые волны. Здесь, так же как и в микрофоне, сохраняется соответствие между звуком и током — звук будет своеобразной копией того переменного тока, который протекает в звуковой катушке громкоговорителя. Как сами видите, машина, которая создает голоса и даже имитирует целый симфонический оркестр, устроена довольно просто. Вся сложность состоит в том, чтобы передать этой машине достаточно точный электрический «шаблон», по которому будет воспроизводиться нужный звук, то есть, проще говоря, подвести к звуковой катушке переменный ток необходимой формы, ну и конечно, достаточно сильный для того, чтобы, преодолевая сопротивление воздуха, двигать диффузор.

Два слова об обратимости. В ряде случаев динамический микрофон и громкоговоритель действительно могут заменить друг друга. Когда в продаже не было маленьких громкоговорителей для карманных приемников, радиолюбители с успехом использовали вместо них некоторые типы микрофонов. И наоборот, громкоговорителю иногда приходится работать вместо микрофона (стр. 150).

Знакомясь с микрофоном и громкоговорителем, мы с вами как-то незаметно ввели еще одно действующее лицо — переменный ток. Рассматривая карманный фонарик, мы говорили, что в его цепи течет постоянный ток. При этом имелось в виду,

КОРОТКО И ЯСНО

Для того чтобы не загромождать схему длинными надписями, применяется система сокращенной записи величин сопротивлений и емкости конденсаторов.

Сопротивления. Когда сопротивление указано в омах, то просто пишут цифру без каких-либо дополнительных обозначений. Если возле цифры стоит обозначение *ком*, значит сопротивление выражено в килоомах. Десятичная дробь говорит, что величина сопротивления приведена в мегахмах.

Конденсаторы. Цифра без запятой означает, что емкость указана в пикофарадах. Цифра с запя-

той, то есть десятичная дробь, говорит, что емкость конденсатора приведена в микрофарадах.

Примеры:

R — 200 означает 200 ом

R — 200 ком означает 200 килоом

R — 0,2 означает 0,2 Мом

R — 10,0 означает 10 Мом

C — 200 означает 200 пф

C — 0,002 означает 0,002 мкф, или, что то же самое, 2 000 пф

C — 20,0 означает 20 мкф.

В особых случаях рядом с конденсатором указывают напряжение, на которое он должен быть рассчитан. Рядом с переменными и подстроечными конденсаторами обычно указывают их минимальную и максимальную емкость.

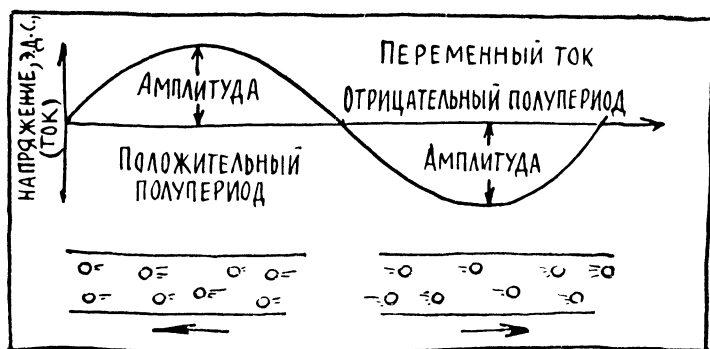


Рис. 14.

что этот ток всегда течет в одну и ту же сторону и величина тока также остается неизменной. В карманном фонаре иначе и быть не могло — источником тока там является батарейка, которая всегда дает постоянную э. д. с.

Другое дело в микрофоне. Согласно законам электромагнитной индукции, величина э. д. с., которая наводится на проводнике, прежде всего зависит от скорости движения этого проводника в магнитном поле — чем быстрее движется проводник, тем больше наведенная э. д. с. Различной может быть и полярность электродвижущей силы — плюс и минус на концах проводника будут меняться местами, если двигать этот проводник то в одну сторону, то в другую. Теперь представьте себе, что получается, когда звуковая катушка микрофона под действием звуковых волн, падающих на диффузор, непрерывно колеблется. Электродвижущая сила, которая при этом возникает на концах звуковой катушки, непрерывно меняется — меняется и ее величина и полярность. Одним словом, на концах катушки действует переменная э. д. с. (рис. 14), которая и создает в цепи переменный ток (помните закон Ома? Ток в цепи зависит от э. д. с.).

Так же как и любая переменная величина, в частности звук, переменный ток и переменное напряжение (э. д. с.) имеют следующие главные характеристики: наибольшее значение — амплитуду, период — время полного цикла колебаний, частоту — число периодов за секунду и, наконец, форму кривой, которую можно четко охарактеризовать суммой гармонических составляющих. Описать какой-либо переменный ток проще всего с помощью графика. Здесь кверху от оси времени откладывается какое-нибудь одно, причем совершенно безразлично какое, направление тока или напряжения, а книзу от оси — противоположное направление. Фактически получаются два графика с общей осью времени — один график нормальный, другой перевернутый вверх ногами. Совершенно очевид-

но, что в нашем случае график переменного тока в цепи должен быть точной копией графика звуковых колебаний, которые мы хотим передать. Точно так же график звука, созданного громкоговорителем, должен точно соответствовать графику тока, который прошел по линии и попал в звуковую катушку громкоговорителя. Одним словом, оба преобразования, или, как мы их называли, оба перевода: звук—ток (переводчик микрофон) и ток — звук (переводчик громкоговоритель) должны происходить без искажений. В этом случае в месте приема мы получим копию звука, который воздействовал на микрофон на передающей стороне нашей линии.

Раз уж зашел разговор об искажениях, стоит сказать о них более подробно. В звуковоспроизводящей аппаратуре встречается в основном два вида искажений — нелинейные и частотные. Вскрыть их причины мы пока не имеем возможности — об этом пойдет речь несколько позже. Сейчас можно говорить лишь о том, как проявляют себя различные искажения, каковы их результаты.

И в том и в другом случае искажается форма сигнала, например, график звука уже оказывается не похожим на график тока, который подводится к громкоговорителю. При этом в результате нелинейных искажений появляются новые гармонические составляющие, которые мы воспринимаем в виде посторонних хрипов и шумов. Частотные искажения не приводят к появлению новых составляющих, они лишь изменяют соотношение амплитуд существующих гармоник. В результате этого звук меняет свой тембр, меняет окраску.

Частотные искажения особенно заметны, когда происходит ослабление или усиление гармоник на краях звукового диапазона — в области высших и низших звуковых частот. Для различных элементов звуковоспроизводящего тракта, в том числе для микрофона и громкоговорителя, принято рисовать частотную характеристику, которая показывает, в какой степени этот элемент создает или, наоборот, компенсирует частотные искажения. Частотная характеристика — это график, у которого по горизонтальной оси всегда откладывается частота. Величина, которая откладывается по вертикальной оси, зависит от того, для какого устройства или прибора составляется характеристика. Так, для громкоговорителя по вертикальной оси можно откладывать силу звука при условии, что к звуковой катушке всегда подводится одинаковая электрическая мощность. Не забудьте, что когда мы в данном случае говорим о частоте переменного тока, то имеем в виду чисто синусоидальный переменный ток. Если бы мы захотели определить частотную характеристику для токов какой-нибудь другой формы, то очень быстро запутались бы, так как должны были бы учитывать и зависимость силы звука от изменения частоты и от искажения формы сигнала. Что же касается синусоидального тока, то

никакие частотные искажения не меняют его формы. В этом одна из наиболее существенных особенностей синусоиды.

Для идеального громкоговорителя частотная характеристика — прямая горизонтальная линия, показывающая, что этот громкоговоритель одинаково хорошо воспроизводит все частоты. В действительности такого, конечно, не бывает. Как правило, частотная характеристика громкоговорителя «завалена», то есть загнута книзу в области высших и низших частот. Практически это значит, что громкоговоритель непропорционально слабо воспроизводит высшие и низшие частоты, причем для разных громкоговорителей отклонение от идеала (все частоты воспроизводятся одинаково) может быть самым различным. Этим, кстати говоря, в основном и определяется качество громкоговорителя, а значит и качество самого приемника. Ведь конечная цель в любом радиоприемнике — создание неискаженного, то есть похожего на настоящий, звука. Конечно, решение этой задачи зависит не только от громкоговорителя, но он является конечным звеном, своего рода сборочным цехом фабрики «синтетического звука», и поэтому от громкоговорителя зависит очень многое. Во всяком случае он может испортить все «старания» других узлов приемника.

Если частотная характеристика завалена в области высших частот, то звук становится глухим, бубнящим, при воспроизведении музыки плохо слышны такие инструменты, как скрипки, флейты, одним словом, нет чистоты, прозрачности звука. Завал в области низших частот, наоборот, приводит к тому, что плохо слышны и даже совсем пропадают басы, звук становится сухим, с металлическими оттенками, такие инструменты, как барабан и контрабас слышны очень слабо. Как правило, громкоговорители с большим диаметром диффузора хорошо воспроизводят низшие звуковые частоты, а маленькие громкоговорители — высшие частоты. В современных приемниках иногда устанавливают несколько разных громкоговорителей и таким путем стремятся приблизиться к идеальной частотной характеристике.

Подводя итог всему, что было рассказано в этой главе, мы еще раз отметим, что в основе всех линий электрической связи, в том числе и радиосвязи, лежит преобразование звука в электрический сигнал, передача этого сигнала на большое расстояние и, наконец, обратное преобразование электрического сигнала в звук. Вы узнали, конечно в самых общих чертах, как это все происходит в линиях проводной связи. Сейчас мы должны выяснить, как подобные преобразования выглядят в линиях радиосвязи, где передача сигналов осуществляется без проводов.



«ГРЕБЕНКА И КОМПАС»

Эти слова взяты в кавычки потому, что весь заголовок позаимствован из другой книги. Книга называется «Что такое радиолокация», а написал ее военный радиоинженер С. А. Бажанов, умевший просто и понятно рассказывать о сложных вещах и прекрасно владевший секретом подбора образов и сравнений. «Гребенка и компас» — это относится к главе, в которой рассказано об электромагнитных полях и волнах. Надо признаться, что сколько ни думай, а лучшего начала для рассказа об этом явлении, по-видимому, не придумаешь. Гребенка и компас — те наглядные пособия, которые позволяют без грубых упрощений подойти к одной из самых сложных тем в радиотехнике — к передаче сообщений с помощью радиоволн.

Вы натерли гребенку шерстяной тряпкой или просто причесали волосы, и она приобрела особое свойство — электрический заряд. В этом легко убедиться, если поднести к наэлектризованной гребенке мелкие клочки бумаги или лоскутки шелка. Однако в результате электризации произошли изменения не только в самой гребенке. Ведь она тянет к себе клочки бумаги с довольно большого расстояния, и значит в этом взаимодей-

ствии каким-то образом участвует пространство, среда. Можно сказать, что вблизи наэлектризованного предмета и само пространство как-то изменяется, оно приобретает какие-то особые электрические свойства. Область пространства, где обнаруживаются эти свойства, а проще, где обнаруживается действие электрических сил, называют электрическим полем. Но это только одно из нескольких определений поля и, нужно признаться, весьма формальное.

С чем может быть связано появление вокруг наэлектризованной гребенки электрического поля? Может быть, произошли какие-нибудь изменения в окружающем воздухе — изменилась энергия его молекул, нарушились или, наоборот, укрепились связи между ними, или, может быть, наконец, произошла электризация самих атомов? Все это, так же, как и другие изменения состояния вещества, не может объяснить появление поля. Если проделать опыт с гребенкой в безвоздушном пространстве, в абсолютном вакууме, то клочки бумаги будут по-прежнему притягиваться к ней. Нет! Вещество, любые его представители — атомы, молекулы, электроны — здесь ни при чем!

Тут наступил момент ввести еще одно более точное определение электрического поля. Оно представляет собой особый вид материи, существующий так же реально, как и вещество, но в отличие от последнего не доступный нашим органам чувств.

Когда неопровержимые опыты показывают, что наряду с веществом действительно существует такая форма материи, как поле, в частности электрическое поле, наш мозг не хочет находить места для этого необычного понятия. Даже люди, выполнившие множество экспериментов с полем, умеющие подсчитать его массу и запасы энергии, как правило, стараются уйти от вопроса: «А как вы себе представляете электрическое поле?» Чаше всего от них можно услышать примерно такой ответ: «А зачем обязательно как-то представлять себе поле? Нужно лишь быть уверенным, что поле не выдумка, что оно реально существует. Ну, а это видно из самых простых опытов». И для подкрепления своих слов наш ученый вырвет из блокнота листок бумаги, изорвет его в мелкие клочки и, наконец, как вы уже, наверно, догадались, извлечет из кармана гребенку. Слово будет предоставлено высшему авторитету — опыту.

Наряду с электрическим существует еще и магнитное поле, о котором мы уже упоминали. Оно возникает вблизи любого движущегося заряда, в том числе и вокруг проводника с током. Магнитное поле также можно обнаружить опытным путем — для этого достаточно поднести компас к проводнику, по которому течет сравнительно сильный (0,5—2 а) постоянный ток. Вблизи проводника с переменным током также существует магнитное поле, но обнаружить его с помощью компаса

нельзя. Поскольку меняется ток, меняется и магнитное поле, стрелка компаса не может поспевать за этими изменениями и по инерции... стоит на месте.

Электрические и магнитные поля тесно связаны с зарядом. Уберите заряд, и электрическое поле исчезнет, остановите заряд — и магнитного поля нет. Однако можно получить электрические и магнитные поля «в чистом виде» — ни с чем не связанные и свободно перемещающиеся в пространстве на огромные расстояния.

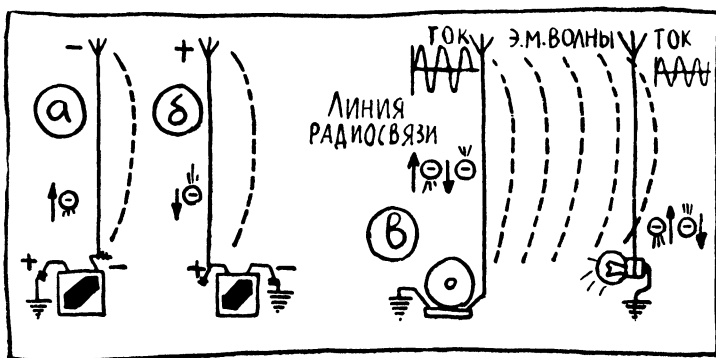
Начнем с того, что электрическое и магнитное поле — не какие-то разрозненные, не зависящие одно от другого явления. Эти поля, по сути дела, представляют собой две стороны, или, как обычно говорят, две составляющие единого электромагнитного поля. Причем, в определенных условиях эти составляющие могут передавать друг другу свою энергию, поддерживать друг друга и даже (почти как в цирке!) превращаться одна в другую. Вот несколько примеров.

До сих пор мы с вами по возможности старались забыть об электрическом поле, во всяком случае старались не вспоминать о нем без особой надобности. Это позволяло нам очень просто, хотя и не очень точно объяснить многие процессы в электрических цепях. Так, в частности, мы без всякого поля рассмотрели электрическую цепь карманного фонарика и на этом простом примере ввели ряд важных соотношений для тока, мощности, напряжения и т. д. А нужно сказать, что достаточно правдоподобную картину и в этом простом случае можно было получить, лишь вспомнив об электрическом поле и учтя его влияние на ход событий.

Возьмем, к примеру, источник тока — батарейку. Когда мы говорим, что на ее зажимах действует электродвижущая сила, то это значит, что батарейка создает электрическое поле — оно обязательно появляется вблизи скопления зарядов, то есть вблизи электродов. Когда мы говорим, что электроны двигаются от «плюса» к «минусу», то в этом движении главную роль играет поле — ведь не руками же батарея подталкивает электроны, она заставляет их двигаться, воздействуя своим полем!

Да и вообще любое взаимодействие зарядов, например их взаимное отталкивание, осуществляется через поле. Вдоль любой проволочной линии существует электрическое поле, созданное генератором, и именно оно подталкивает на всем пути заряды, поддерживает ток в цепи. Поле затрачивает энергию на создание тока и тут же получает пополнение своих запасов от генератора. А теперь вывод — короткий и очевидный. Электрическое поле поддерживает ток, а ток создает магнитное поле. Следовательно, в этом случае запасы энергии переходят из электрического поля в магнитное.

Другой пример — электромагнитная индукция. Взаимодей-



ствие проводника и магнита во всех случаях осуществляется через поля, без каких бы то ни было соприкасаний. Об этом говорит само слово индукция, которое означает «наведение» «передача на расстоянии». Когда мы сами двигаем проводник, то получаем на его концах э. д. с., то есть создаем электрическое поле с помощью магнитного. Когда мы пропускаем через проводник ток, то в результате взаимодействия электрического и магнитного полей получаем механическую работу. В самом общем виде можно сказать, что явление электромагнитной индукции состоит в следующем: всякое изменение электрического поля влечет за собой появление меняющегося магнитного поля, а всякое изменение магнитного поля приводит к изменению электрического. Не вздумайте, пожалуйста, оставить без внимания слово изменение — в нем вся сущность дела. Это хорошо видно на следующем, третьем примере.

и только в этот момент, в разомкнутой линии шел ток и вокруг проводника существовало магнитное поле.

Теперь давайте переключим провод с «минуса» на «плюс» (рис. 15, б). Опять на какое-то мгновение появится ток — не только лишние, но и многие собственные электроны проводника потянутся туда, где их не хватает, то есть на «плюс». Вновь на какое-то мгновение появится магнитное и изменится электрическое поле — теперь они создаются током противоположного направления и зарядом противоположного знака. На проводнике уже не избыток, а недостаток электронов, то есть «плюс», а не «минус».

Мы все время подчеркиваем, что процессы в разомкнутой цепи — появление тока, а с ним и магнитного поля, изменение электрического поля — очень кратковременны. Время их существования в основном зависит от того, насколько быстро волна электрического поля, увлекающая за собой свободные заряды, пройдет путь вдоль всего проводника. Поле движется с огромной скоростью — 300 000 километров в секунду, и даже для проводника длиной в несколько километров время существования тока будет исчисляться миллионными долями секунды. И несмотря на это в длинном разомкнутом проводнике можно создать непрерывный, непрекращающийся ток. Для этого нужно подключить проводник к генератору переменной э. д. с. (рис. 15, в).

Напряжение на зажимах такого генератора все время меняется, меняется его величина, меняется и полярность. Иными словами, на том зажиме, где был «+», через некоторое время становится «—», затем опять «+» и т. д. Поэтому вдоль проводника, подключенного к этому зажиму, то в одну то в другую сторону, будет двигаться волна электрического поля, которое будет увлекать за собой электроны, создавать переменный ток, а под действием этого переменного тока вокруг проводника появится переменное магнитное поле.

Если взять достаточно длинный проводник и достаточно быстро изменяющуюся э. д. с., то перемещение полей, несмотря на их огромную скорость, не будет поспевать за изменением тока. Еще не успеет дойти до конца проводника волна электрического поля, как с генератора уже сходит следующая волна, еще не успело исчезнуть магнитное поле очередного «толчка» тока, как уже появляется следующий «толчок», который в свою очередь сам создает магнитное поле. И вот здесь-то и происходит самое интересное — отталкивание, отбрасывание электрических и магнитных полей от проводника, излучение их в пространство. Как бы обидевшись за грубость, за то, что их подталкивали и подгоняли, электрические и магнитные поля покидают проводник, отрываются от него и начинают свою собственную свободную жизнь. При этом поля тесно связаны одно с другим, поддерживают друг друга, непрерывно обме-

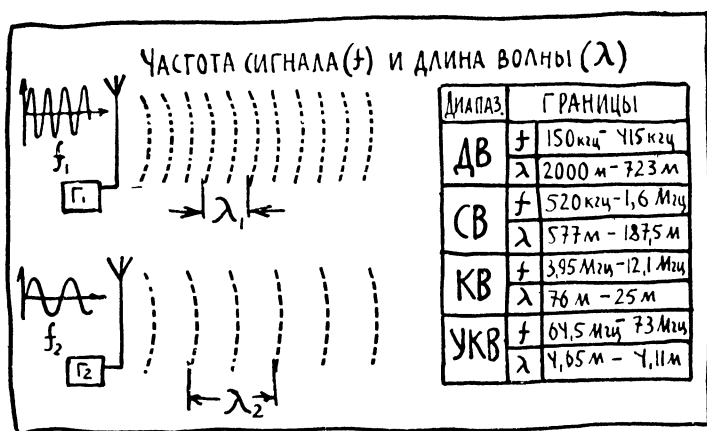


Рис. 16.

ниваются запасами энергии, захваченными у генератора. Одним словом, в пространство излучается единое электромагнитное поле, которое содержит электрическую и магнитную составляющие. Электромагнитное поле уходит во все стороны от излучающего проводника с уже известной нам скоростью — 300 000 километров в секунду, оно как «гордый Демон, дух изгнания» не боится преград, не признает расстояний, пронесется над лесами и океанами, пронизывает стены домов, уходит в просторы космоса. И только встретив на своем пути проводник... Но прежде чем говорить об этой встрече, еще несколько слов о том, как происходит излучение.

В нашем примере источником излучения служит генератор переменного тока. Поэтому от проводника (давайте его сразу же назовем передающей антенной) электромагнитные поля будут отходить непрерывно, одно за другим... Иными словами, под действием переменного тока передающая антенна будет планомерно, через равные промежутки времени излучать электромагнитные волны. Чем выше частота переменного тока в передающей антенне, тем чаще следуют друг за другом «сгустки» электромагнитного поля, тем меньше расстояние между ними. Расстояние между двумя одинаковыми «сгустками» (то есть созданными током одного направления, например, между ближайшими четными) называется длиной электромагнитной волны (рис. 16). Длина волны зависит от частоты переменного тока в передающей антенне — чем больше частота, тем короче волна. Любую из этих величин можно подсчитать, если известна другая и, конечно, скорость движения волны.

Теперь легко сообразить, что получится, если на пути электромагнитных волн встретится проводник. Электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля «схватят»

свободные электроны проводника (мы сразу же назовем его приемной антенной) и будут их подталкивать в ту или иную сторону. А поскольку волны продолжают двигаться и поле в районе проводника непрерывно меняется, то будут **меняться** также **скорость** и **направление** движения свободных электронов в проводнике. Иными словами, электромагнитные волны наведут в проводнике переменный ток.

Переменный ток в приемной антенне как по частоте, так и по форме кривой оказывается точной копией переменного тока, который циркулировал в передающей антенне. А вот что касается мощности, то в приемную антенну попадает лишь ничтожная доля излучаемой энергии. Ведь электромагнитные волны просто-напросто разбазаривают энергию, полученную от генератора, растаскивают во все стороны. Да потом на пути встречается множество потребителей — энергию отбирают не только настоящие антенны, но и вообще все проводники, все металлические предметы — крыши, провода, в какой-то степени даже почва и водоемы. Так что сами судите, что может достаться приемной антенне, расположенной на расстоянии сотен и тысяч километров от передающей.

Но как бы там ни было, электромагнитные волны связывают передающую антенну с приемной, образуют беспроводную линию электрической связи. Кстати говоря, подобные линии существуют уже миллиарды лет. В природе на каждом шагу встречается передача энергии или информации с помощью электромагнитных волн. Возьмите, к примеру, глаз человека или животного. Он представляет собой своеобразный приемник электромагнитных волн, излучаемых всяким освещенным предметом. Вы, конечно, знаете, что свет — это самые обычные электромагнитные волны (с очень малой длиной волны. Излучение их также происходит за счет движения электрических зарядов). Так волны, соответствующие красному или зеленому свету, могут появиться, если в атоме водорода электрон перейдет с одной орбиты на другую. Прием световых волн также сопровождается движением зарядов в масштабах атомов или молекул. Подобные молекулярные приемники света работают и в нашем глазу. Так что напрасно мы дали электромагнитным волнам прозвище «невидимые». Как раз эти волны мы и видим. Правда, не все, а лишь те, которые имеют длину волны примерно от 400 до 800 тысячных долей микрона. Более длинные и более короткие электромагнитные волны наши органы чувств действительно не воспринимают.

Однако мы с вами слишком отвлеклись. Уже давно пора сделать шаг на пути к главной цели — выяснить, как осуществляется радиопередача речи и музыки.



ЭТО ДЕЛАЕТСЯ ТАК...

На первый взгляд кажется, что построить беспроводную линию телефонной связи довольно просто. Нужно включить микрофон в цепь передающей, а телефон (наушник) — в цепь приемной антенны. Во время разговора будет меняться ток в передающей антенне, и она будет излучать радиоволны. Эти волны в свою очередь дойдут до приемной антенны и наведут в ней соответствующий ток, который заставит мембрану колебаться и создавать звук. Как видите, все получится отлично — линия работает. Но это только на первый взгляд. В действительности подобные системы связи практически неосуществимы¹, и по многим причинам.

¹ Исключение составляют низкочастотные системы беспроводной связи с небольшим — несколько сот метров — радиусом действия. Однако в этих системах не происходит «настоящего» излучения электромагнитных волн, и энергия передается от передатчика к приемнику иначе, в основном за счет емкостной связи между антеннами.

Вот две из них, пожалуй, самые главные.

Мы уже говорили, что излучение электромагнитных волн происходит потому, что ток в передающей антенне довольно быстро меняется. Поле не успевает за время одного цикла колебаний тока пройти весь путь вдоль проводника и вернуться обратно к генератору. Именно поэтому эффективность излучения зависит от соотношения между частотой тока и длиной антенны. Если частота мала, то есть если ток меняется не очень быстро, то для того, чтобы получить необходимое запаздывание поля, приходится брать очень длинный проводник.

Слышимый звук имеет сравнительно небольшую частоту — до 20 кГц. Совершенно ясно, что такую же частоту будет иметь и ток в передающей антенне, куда включен микрофон. Для

КИЛОГЕРЦЫ И МЕТРЫ

Представьте себе такую картину. По шоссе быстро едет автоцистерна, и из плохо закрытого крана на землю то и дело падают белые капельки молока. Совершенно ясно, что при равномерном движении автомобиля расстояние между двумя соседними каплями будет зависеть только от того, с какой частотой они падают: чем больше эта частота, тем ближе друг к другу будут «молочные точки» на асфальте.

Эта картинка хорошо иллюстрирует зависимость длины радио-

волн от рабочей частоты передатчика. Длина волны — это расстояние между соседними «гребнями», или, что то же самое, расстояние, которое успеет пройти радиоволна за время одного периода высокочастотных колебаний. Скорость распространения радиоволн всегда одинакова и поэтому λ зависит только от частоты. Чем выше частота, тем меньшее расстояние успеет пройти радиоволна за время одного периода, тем, следовательно, короче длина волны. Длина волны и частота связаны очень простой зависимостью, и любую из этих величин можно легко вычислить, если известна другая:

λ — в километрах f — в килогерцах	$\lambda = \frac{300}{f}$	$f = \frac{300}{\lambda}$
λ — в метрах f — в мегагерцах	$\lambda = \frac{300\,000}{f}$	$f = \frac{300\,000}{\lambda}$
λ — в метрах f — в мегагерцах	$\lambda = \frac{300}{f}$	$f = \frac{300}{\lambda}$
λ — в сантиметрах f — в килогерцах	$\lambda = \frac{30\,000}{f}$	$f = \frac{30\,000}{\lambda}$

В этих формулах постоянное число получено из скорости света и учитывает единицы, в которых

выражена частота f и длина волны λ .

эффективного излучения электромагнитных волн с помощью этого низкочастотного тока нужно строить антенны высотой в несколько километров и даже несколько десятков километров. Стоит ли пояснять, что практически это неприемлемо?

А вот вторая причина. В радиусе действия нашей низкочастотной системы беспроводной связи другие подобные системы уже работать не смогут. Почему? Да потому, что при одновременной работе нескольких передающих станций каждая из них наведет свой ток в приемной антенне, и телефон будет воспроизводить сразу все программы. Сами понимаете, не позавидуешь человеку, которому придется слушать одновременно десяток разных разговоров или музыкальных передач. Даже сейчас, при очень высоком уровне развития радиотехники трудно предложить реальный способ разделения программ в подобной системе.

И все-таки, об этом знает любой ребенок, передача речи и музыки без проводов с помощью электромагнитных волн — задача решенная. Решение ее основано на использовании токов высокой частоты. Высокая частота — понятие условное. Тут официальных границ никто не устанавливал, хотя обычно к высоким относят все частоты выше 20—25 кГц. Практически для передачи сообщений без проводов используются частоты от нескольких сот килогерц до многих тысяч мегагерц, которые создают электромагнитные волны длиной от нескольких тысяч метров до малых долей сантиметра. Весь этот диапазон электромагнитных колебаний называют радиоволнами и радиочастотами. Совершенно ясно, что более высоким частотам соответствуют более короткие волны.

Применение токов высокой частоты позволяет эффективно излучать радиоволны при сравнительно небольших антеннах. Кроме того, появляется возможность частотного разделения каналов — каждой станции присваивается определенная, отличная от других частота, а в месте приема удается по известной частоте найти нужную станцию и выделить ее среди всех остальных. Правда, с применением высокочастотного тока возникает дополнительная трудность — ведь нам нужно переслать с передающей станции на приемную не высокочастотный, а низкочастотный сигнал — электрическую копию звуковых колебаний. Это значит, что нужно каким-то образом заставить электромагнитные волны, созданные высокочастотным током, переносить на себе «подробное описание» низкочастотного тока. Во многих случаях, пытаясь как можно проще объяснить сущность этого процесса, так и говорят, что низкая частота оседлала высокую частоту и на ней пролетела путь от передатчика к приемнику. Это, конечно, не очень понятный образ. Как это так: одна частота оседлала другую? И как вообще частота может что-либо делать — ведь не говорим же мы, что один вес уместился в другом или одна толщина вытес-

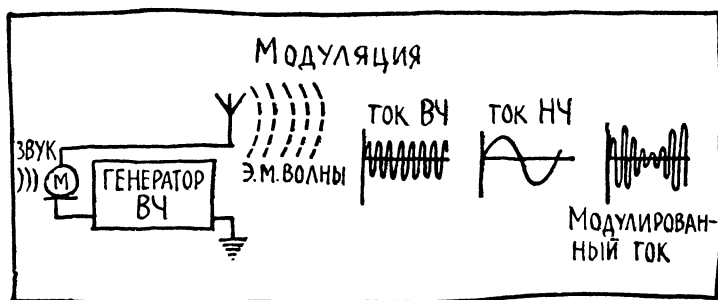


Рис. 17.

нила другую. Но если даже применить более точные выражения и говорить о электромагнитных полях, то все равно остается неясным, как одно поле — низкочастотное — может ездить на другом — высокочастотном. В действительности дело обстоит совсем иначе и, кстати говоря, настолько просто, что для объяснения совсем не нужно привлекать на помощь коней и всадников.

Прежде всего давайте представим себе линию радиосвязи. На передающей стороне имеется генератор тока высокой частоты, к которому подключена передающая антенна. На приемной стороне также имеется антенна, в цепь которой включен индикатор высокочастотного тока, ну, скажем, какая-нибудь сверхчувствительная электрическая лампочка. Когда работает передатчик, от его антенны во все стороны расходятся радиоволны и часть из них приходит к приемной антенне. В антенне при этом появляется ток и лампочка загорается.

Совершенно ясно, что такую линию можно легко использовать для передачи телеграмм (теперь они уже называются радиограммами) с помощью азбуки Морзе. Для этого достаточно в цепь передающей антенны включить телеграфный ключ и с его помощью соединять или разъединять антенну и генератор. Это позволит излучать радиоволны длинными и короткими импульсами, то есть в виде точек и тире, а лампочка в месте приема будет давать такие же длинные и короткие вспышки. Произойдет примерно то же самое, что и в линии уже знакомого нам простейшего телеграфа (стр. 33). Только вместо постоянного тока лампочку будут зажигать импульсы высокочастотного тока, а вместо проводной линии передатчик с приемником свяжут электромагнитные волны.

Теперь попробуем по аналогии сделать следующий шаг — передать по линии радиосвязи речь или музыку. С передающей стороной все обстоит сравнительно просто. Давайте в цепь передающей антенны, то есть в ту цепь, где циркулирует высокочастотный ток, включим угольный микрофон (рис. 17).

Не какой-нибудь другой, а именно угольный, тот, который под действием звуковых волн меняет свое сопротивление.

Переменный ток так же подчиняется закону Ома, как и постоянный. Во всяком случае, с увеличением сопротивления цепи ток уменьшается. Это значит, что ток в передающей антенне помимо очень быстрых изменений (вы, конечно, помните, что этот ток создается с помощью специального высокочастотного генератора) будет сравнительно медленно изменяться из-за меняющегося сопротивления микрофона. Практически окажется, что в такт со звуковыми колебаниями, в точности следуя за всяким изменением звукового давления, будет меняться амплитуда высокочастотного тока, а следовательно, и интенсивность излучения радиоволн.

Процесс управления высокочастотным током, изменение его величины в соответствии с низкочастотным сигналом называется модуляцией. В данном случае речь шла об амплитудной модуляции, поскольку под действием низкочастотного сигнала, в частности под действием звуковых волн, изменялась амплитуда высокочастотного тока. Нередко применяется и частотная модуляция, когда низкочастотный сигнал управляет самой частотой высокочастотного генератора, а амплитуда тока остается неизменной (стр. 174).

Попробуем четко представить себе, что произошло в результате амплитудной модуляции и как ее можно использо-

ПРИЕМНИК СДЕЛАН В ТИПОГРАФИИ

Еще совсем недавно поговорку «Сапожник без сапог» можно было с полным правом отнести в адрес радиоэлектроники. Точные электронные приборы открыли дорогу для широкой автоматизации самых различных отраслей производства, в то время как сама технология изготовления автоматов, причем как и другой радиоэлектронной аппаратуры, долго оставалась на кустарном уровне. Ну как можно автоматизировать такой процесс, как сборка приемников и телевизоров? Какой автомат сумеет точно установить множество больших и маленьких деталей, проложить десятки проводов, а затем, безошибочно направив в цель тонкое жало паяльника, смонтировать сложную схему? Первую брешь пробил печатный монтаж, который позволил «одним махом» изготавливать все

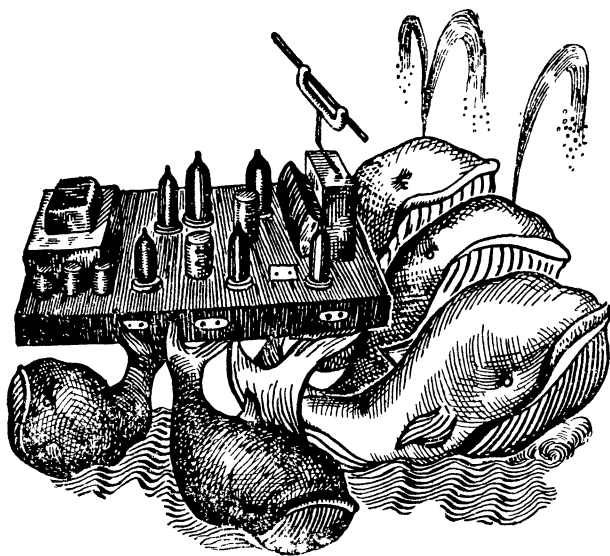
главные соединительные цепи. Один из методов печатного монтажа использует фольгированные (то есть покрытые тонким слоем медной фольги) пластинки из изолятора — гетаникаса. На фольгу с помощью обычного печатного станка наносится кислотоупорной краской замысловатый рисунок — изображение соединительных цепей. Затем пластинку погружают в кислоту, которая растворяет всю медь за исключением участков, защищенных краской. Так на изоляционной пластине появляются тонкие, как бы напечатанные провода, к которым в дальнейшем припаиваются (этот процесс, кстати, также можно автоматизировать) необходимые детали. Печатный монтаж применяется в ряде отечественных приемников и телевизоров, в частности, в радиоле «Латвия». При ремонте печатных панелей отдельные участки цепей можно заменять обычными проводами.

вать для передачи сообщений. Высокочастотный ток так и остался высокочастотным током, он так же, как и раньше, является началом всей цепочки — ток в передающей антенне — радиоволны — ток в приемной антенне. Ничуть не изменились процессы излучения радиоволн, их распространения в пространстве, наведения тока в приемной антенне. И все же на всем теперь остались следы модуляции, отпечаток низкочастотного сигнала. В обычной телефонной линии мы с помощью микрофона меняли постоянный ток, который давала батарея, на другом конце линии телефон улавливал эти изменения электрического тока и переводил их на язык звуков, то есть превращал в звуковые волны. Теперь мы подобным же образом изменяем амплитуду высокочастотного тока на передающей стороне. Радиоволны, в точности повторяя все эти изменения (меняется амплитуда тока, меняется и интенсивность излучения), создают точно такой же модулированный ток в приемной антенне. Теперь нам нужно найти прибор, который мог бы уловить все появившиеся в результате модуляции изменения высокочастотного тока и превратить их в звук. Это должна быть копия того звука, который менял сопротивление микрофона на передающей стороне радиоприемника.

Но позвольте! Зачем искать какой-то новый прибор? Возьмем и включим в цепь приемной антенны обычный головной телефон или громкоговоритель. Ведь это отличные переводчики с «электрического» языка на «звуковой»!

Попробовали, включили и... ничего не вышло. Почему?

Во-первых, громкоговоритель и телефон слишком медлительны. Их подвижные части — мембрана и диффузор — не успевают за быстрыми изменениями высокочастотного тока и попросту стоят на месте. Но это трудность преодолимая — можно в конце концов построить специальный электроакустический преобразователь, который будет работать на высоких частотах, создавать высокочастотный звук, или, как его обычно называют, ультразвук. Ну а зачем это нужно? Ведь наше ухо ультразвука все равно не услышит. Да и нужен-то совсем не ультразвук, а обычные низкочастотные звуковые колебания, проще говоря, необходимо воспроизвести речь или музыку, то есть то, что звучало перед микрофоном на передающей стороне. Вывод отсюда может быть только один — нужно так преобразовать модулированный высокочастотный ток, чтобы получить электрическую копию звука — электрический сигнал, который по частоте и по форме кривой будет повторять все изменения звукового давления на мембрану или диффузор микрофона. Такое преобразование осуществляется с помощью довольно простого прибора — детектора.



ОДИН ИЗ ТРЕХ КИТОВ

Людам, наверное, жилось довольно просто, когда они верили, что Земля держится на трех китах. Их не мучали проблемы небесной механики, парадоксы времени, загадки тяготения. Но, конечно, за этим спокойствием стояла страшная беспомощность, беспомощность, которую даже трудно представить себе современникам космических полетов, электронного мозга, расщепленного атома...

Рассматривая работу приемника, мы для облегчения могли бы просто назвать три главных преобразования, на которых держится техника радиоприема. Прежде всего, это преобразование электромагнитных волн в высокочастотный ток. Второй кит — детектирование — преобразование модулированного высокочастотного тока и выделение переменного тока низкой частоты, «электрической копии» звукового сигнала. Ну и наконец, третий кит — преобразование тока низкой частоты в звук.

Эти три процесса — необходимый минимум¹, который мо-

¹ Современный ламповый приемник не удовлетворяется этим минимумом, и если уж говорить о «китах», на которых держится этот приемник, то нужно было бы назвать еще двух — усиление слабых сигналов и выбор сигналов нужной станции из огромного множества других.



Рис. 18.

жет обеспечить работу простейшего приемника. Такой приемник будет работать плохо, но все-таки работать будет.

У нас уже был разговор о том, как в приемной антенне электромагнитные волны наводят переменный ток. Знакомы мы и с громкоговорителем, который с помощью переменного тока низкой частоты создает звуковые волны. Теперь настала очередь познакомиться с детектированием.

Детектирование — процесс весьма простой и очень наглядный. Подробные и упрощенные описания его есть во всех книгах по основам радиотехники и уж во всяком случае во всех книгах, посвященных работе радиоприемника. Одним из подобных упрощенных и наглядных объяснений работы детектора воспользуемся и мы.

Для начала отметим, что главный элемент в схеме детектора — это прибор, обладающий односторонней проводимостью. Этот прибор так и называется — электрический вентиль. Он пропускает ток только в одном направлении, подобно тому, как обычный вентиль легко пропускает воздух внутрь велосипедной камеры и не выпускает его обратно.

Давайте включим такой вентиль в цепь высокочастотного тока, который мы когда-то пытались пропустить через телефон (стр. 52). После включения вентиля (рис. 18, а) через телефон уже пойдет не переменный ток, а импульсы тока только одного направления. Какого? Это зависит от того, как включен вентиль, в какую сторону он пропускает ток. Кстати говоря, для работы детектора, по крайней мере простейшего, направление импульсов тока никакого значения не имеет. Для любого случая в нашей простой схеме импульсы тока обратного направления пройдут мимо телефона, через вспомогательное сопротивление R_1 .

Помните, почему громкоговоритель и телефон не работали

от высокочастотного тока, не могли преобразовать его в такие же высокочастотные звуковые волны? Здесь все дело в инерции подвижной системы, в том, что она не успевает за всеми изменениями тока. Только начнет мембрана телефона двигаться в одну сторону, как направление тока изменится и мембране уже нужно поворачивать обратно. Такие изменения направления тока происходят сотни тысяч и миллионы раз в секунду. Где уж тут успеть... Другое дело, когда с помощью вентиля мы оставляем импульсы тока только одного направления. Один из этих импульсов слегка сдвинет мембрану, другой подтолкнет дальше, третий еще дальше, и так постепенно мембрана отклоняется от своего нейтрального положения. Чем больше амплитуда высокочастотного тока, тем, естественно, дальше отклонится мембрана телефона.

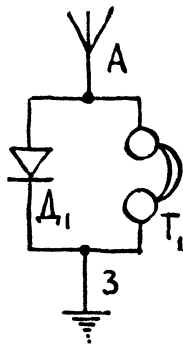
В приемной антенне, так же как и в передающей, протекает модулированный ток. Поэтому амплитуда импульсов тока, полученных после детектирования, также окажется модулированной. В результате мембрана телефона будет медленно двигаться то в одном, то в другом направлении, следуя за всеми изменениями амплитуды. Амплитуда импульсов увеличивается — мембрана движется дальше, амплитуда уменьшается — мембрана возвращается.

Ну а что представляют собой и откуда появились эти изменения амплитуды? Модуляцию высокочастотного тока мы осуществили на передающей стороне линии радиосвязи. Это было сделано с помощью низкочастотного сигнала, который в свою очередь является электрической копией передаваемого звука. В изменениях амплитуды и запечатлен этот звук: если нарисовать график огибающей, то есть линию, соединяющую все амплитуды модулированного сигнала, то он в точности совпадет с графиком передаваемого звука. В соответствии с таким графиком будет совершать колебания мембрана нашего

ПРОЩЕ НЕ БЫВАЕТ

Это выражение почти всегда гиперболы, а вот приемник, схема которого здесь приводится, действительно самый простой — проще не придумаешь.

С хорошей антенной и заземлением приемник типа «проще не бывает» может принять местную станцию, и, к сожалению, даже не одну. «К сожалению» — это потому, что в приемнике нет колебательного контура, он совершенно лишен избирательности и все достаточно сильные сигналы воспроизводит одновременно.



телефона, а это значит, что она воспроизведет звук, с помощью которого осуществлялась модуляция.

Таким объяснением работы детектора можно было бы ограничиться, однако мы попробуем проникнуть в дело немного глубже. Еще в начале этой главы мы отнесли детектирование к числу наиболее важных преобразований сигнала в радиоприемнике. К тому же это преобразование весьма типичное, и с подобными процессами мы еще встретимся в этой книге. Словом, стоит разобрать подробнее, что происходит с сигналом при детектировании.

Для начала снимем маску с таинственного незнакомца, представим публике главного героя — электрический вентиль. Эту важную роль, как и полагается в театре, могут исполнять несколько «артистов» — несколько различных по принципу действия и устройству электронных приборов. Пока мы ограничимся знакомством с одним из них — точечным полупроводниковым диодом.

Полупроводник — это, попросту говоря, плохой проводник. Он проводит ток, но проводит его во много тысяч раз хуже, чем, например, медь или сталь. Но зато с помощью тонких технологических приемов можно в широких пределах влиять на свойства полупроводниковых материалов — менять их сопротивление, менять подвижность, количество и даже знак свободных зарядов. Так, в частности, находят применение полупроводниковые материалы германий и кремний двух типов. В одном из них основная масса свободных зарядов — электроны. Это германий и кремний типа *n* (от слова *negativ* — отрицательный). Другой тип полупроводниковых материалов — германий и кремний типа *p* (от слова *positiv* — положительный) в основном содержит свободные положительные заряды. К сожалению, мы сейчас не можем подробно выяснить, как посявляются и двигаются эти положительные заряды, как они «выглядят». Если у вас возникнет потребность как-нибудь их себе представить, то придется пойти на самообман — считать, что в полупроводнике *p*-типа есть свободные положительные ионы. Самообманом это будет потому, что в действительности положительные ионы в полупроводнике неподвижны, хотя движение положительного заряда все-таки существует. Происходит это примерно так: положительный ион, атом с недостающим электроном разными путями «переманивает» к себе электроны из другого нейтрального атома, который в результате сам становится положительным ионом. Таким образом, «пустые места», или иначе «дырки», кочуют по полупроводнику, то есть происходит перемещение положительного заряда.

Работа любого полупроводникового прибора, в том числе и диода, основана на интересных процессах, которые происходят в так называемом *pn*-переходе. Этот переход представляет собой область, где соприкасаются два полупроводниковых ма-

териала с разным типом проводимости, например, германий p и n типа (рис. 19, а). Вы только не подумайте, что для того, чтобы получить pn -переход, берут два куска разных полупроводников и прижимают их друг к другу. Основой перехода всегда служит полупроводник с каким-то одним типом проводимости. На определенном участке в него добавляют небольшое количество примесей и получают другой тип проводимости. Так в одном куске, в небольшом полупроводниковом кристалле получают pn -переход. К каждой его зоне особым образом припаивают металлические выводы, и полупроводниковый диод готов. Вы, конечно, догадались, что диодом он называется именно потому, что имеет две главные детали — зону p и зону n . Приставка «ди» обычно означает «два». В детекторе радиоприемника могут применяться только точечные диоды.

Замечание о приемнике напоминает, что нам пора возвращаться к главной теме разговора — к детектированию.

Но перед этим предстоит еще выяснить, «куда запрягается лошадь» — каким образом диод может играть роль вентиля, почему он пропускает ток только в одну сторону.

Давайте подключим диод к батарейке карманного фонаря (это так называемый мысленный эксперимент — если произвести такое включение по-настоящему, диод просто выйдет из строя), причем подключим его так, чтобы плюс был соединен с зоной p , а минус с зоной n (рис. 19, б). При этом электроны двинутся из зоны n в сторону плюса, а положительные заряды из зоны p в сторону минуса. На границе между зонами будет происходить обмен зарядами, и в цепи пойдет ток. Теперь давайте включим диод наоборот — зону p подключим к минусу, а зону n — к плюсу (рис. 19, в). В этом случае заряды двинутся в обратную сторону — не по направлению к pn -пере-



Рис. 19.

ходу, а от него. В результате между зонами окажется участок полупроводника, практически лишенный свободных зарядов, проще говоря, в цепи появится разрыв. Вывод: полупроводниковому диоду далеко не безразлично, как подключена к нему батарея — при одной полярности он пропускает ток, при противоположной — не пропускает. Или иначе — диод пропускает ток только в одну сторону.

Вот теперь можно возвращаться к детектору. Только мы уже не будем заниматься простейшей схемой с головным телефоном (рис. 18, а), а рассмотрим реальную схему диодного детектора, схему, которую в том или ином виде можно встретить в любом ламповом или полупроводниковом приемнике (рис. 18, б). Здесь источником высокочастотного сигнала для детектора уже не будет служить антенна — в реальном приемнике сигнал никогда не попадает на детектор прямо из антенны. И хотя в нашем случае это больше похоже на шутку, мы все же воспользуемся приемом, который применяется в теоретической радиотехнике — введем «черный ящик».

Когда известно, что сигнал претерпевает какие-то изменения, но не известно, какие именно и в каких электрических цепях они проходят, на схеме рисуют квадрат или прямоугольник с двумя входными и двумя выходными проводами. Это так называемый четырехполюсник, содержимое которого не известно, а известно только, что подается на вход и что получается на выходе. По-видимому, желая подчеркнуть таинственность процессов, происходящих внутри четырехполюсника, ему дали название «черный ящик», хотя совершенно ясно, что ничего таинственного в ящике не происходит. Часто он вводится просто как временная мера, когда нет оснований или, наконец, просто не хватает знаний для того, чтобы выяснить, что же происходит в четырехполюснике с таким интригующим названием. Вот такой «черный ящик» введем и мы на пути от антенны к детектору. К его входным зажимам мы подключим антенну и заземление, а к выходным — детектор.

Забегая вперед, отметим, что в нашем «черном ящике» происходят два важнейших процесса, о которых мы уже упоминали в начале главы, — выделение сигнала нужной станции из множества других, действующих в антенне, и усиление этого избранного сигнала. Пока же мы ограничимся следующими сведениями — сигнал на выходе четырехполюсника, то есть напряжение на входе детектора является точной копией высокочастотного модулированного тока, который радиоволны нужной нам станции навели в приемной антенне.

Нет на нашей схеме и телефона — его место заняло обычное сопротивление. Это так называемая нагрузка детектора, потребитель результатов его «труда». Каковы эти результаты, что именно получает нагрузка от детектора — в этом мы сейчас попробуем разобраться.

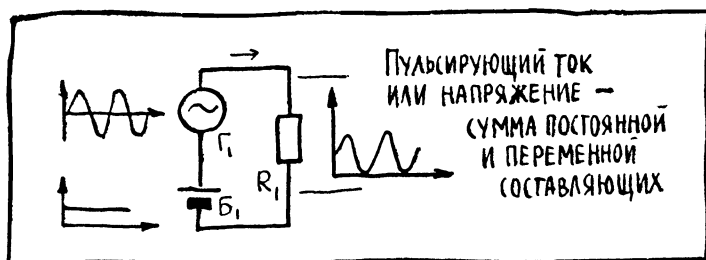


Рис. 20.

Для начала рассмотрим случай, когда на передающей стороне выключен микрофон и высокочастотный сигнал как в передающей, так и в приемной антенне не модулирован (рис. 23, а, б, в). В этом случае к детектору, точнее, к цепочке диод — нагрузка с выхода «черного ящика» подводится переменное напряжение высокой частоты с неизменной амплитудой. Диод пропускает ток только в одну сторону — об этом уже говорено-переговорено — и поэтому в цепи детектора пойдут импульсы тока, каждый из которых длится половину периода. Вторую половину периода тока в цепи нет — антракт.

Можно легко представить себе такой пульсирующий ток. Электроны движутся в проводнике рывками — рывок, остановка... рывок, остановка... Но поскольку направление этих рывков не меняется, то постепенно электроны сдвигаются в одну сторону, так же как и при постоянном токе. Более того, если не обращать внимания на пульсации, на неравномерность движения электронов, то можно считать, что в цепи детектора протекает постоянный ток.

Пульсирующий ток, о котором идет речь, можно получить искусственным путем, без помощи детектора. Для этого нужно иметь два генератора, один из которых дает постоянный, а другой — переменный ток (рис. 20). Если пропустить оба тока по одной общей цепи и определенным образом подобрать их величину, то можно добиться того, что в некоторые моменты времени, а именно в те полупериоды, когда переменный ток идет навстречу постоянному, тока в цепи вообще не будет. Так, например, если в каком-то направлении по проводнику движется десять электронов и одновременно десять электронов идет навстречу им, то это равносильно тому, что никакого упорядоченного движения электронов вообще нет. В реальном случае дело не доходит до движущихся зарядов. В определенный момент переменное напряжение действует против постоянного и полностью нейтрализует его, а поэтому практически нет силы, которая могла бы двигать заряды, то есть создавать ток. Таким образом, между импульсами появляются паузы,

Если мы получили «синтетический» пульсирующий ток из постоянного и переменного, то нельзя ли решить обратную задачу — выделить постоянный и переменный ток из пульсирующего? Можно, и именно этим мы с вами сейчас должны будем заняться. Правда, придется потерпеть до следующей главы, чтобы узнать, как именно такое разделение может быть осуществлено. Пока же мы ограничимся тем, что объявим конечный результат — пульсирующий ток в цепи детектора (рис. 23, а) можно разделить на постоянную (рис. 23, в) и переменную (рис. 23, б) составляющие.

Переменную составляющую мы в дальнейшем будем называть высокочастотной. Во-первых, она действительно имеет высокую частоту: ведь сами импульсы тока в цепи детектора — это высокочастотные импульсы, далекие потомки высокочастотного тока, наведенного в антенне. Во-вторых, нам необходимо ввести слово «высокочастотная» еще и потому, что переменная составляющая, о которой идет речь, это не единственный переменный ток, протекающий в цепи детектора.

До сих пор мы рассматривали случай, когда на передающей стороне микрофон выключен, ну, например, потому, что из дикторского текста потерялась какая-то страничка и дикторы, объявив минутный перерыв, лихорадочно перебирают бумаги на столе. Наконец нужный листок обнаружен, микрофон включен, и передача продолжается. Дикторы могут облегченно вздохнуть, а для нас начнутся новые неприятности — вся описанная картина разделения пульсирующего тока окажется неверной.

Как только диктор начал говорить, ток в передающей антенне становится модулированным и значит амплитуда импульсов тока в цепи детектора также изменяется в соответствии с модуляцией (рис. 20, г). Теперь и после разделения этого тока на составляющие каждая из них будет носить следы модуляции. Что касается высокочастотной составляющей (рис. 23, д), то она не очень-то нас интересует. А вот постоянной составляющей придется заняться.

Эту составляющую уже нельзя называть постоянной (рис. 23, е). Раз меняется амплитуда импульсов, значит меняется и средняя скорость электронов, значит постоянный ток тоже меняется. Какой же он после этого постоянный?

Ток, который раньше был постоянным, теперь стал пульсирующим. Пульсирует он сравнительно медленно, величина его редко становится равной нулю и все-таки это пульсирующий ток — с неизменным направлением и изменяющейся величиной. Самое интересное это то, что, изменяясь, он в точности повторяет все изменения амплитуды высокочастотного пульсирующего тока (рис. 23, г).

Есть такая детская игра — кто-нибудь из ее участников ищет спрятанный предмет, а остальные ему подсказывают.

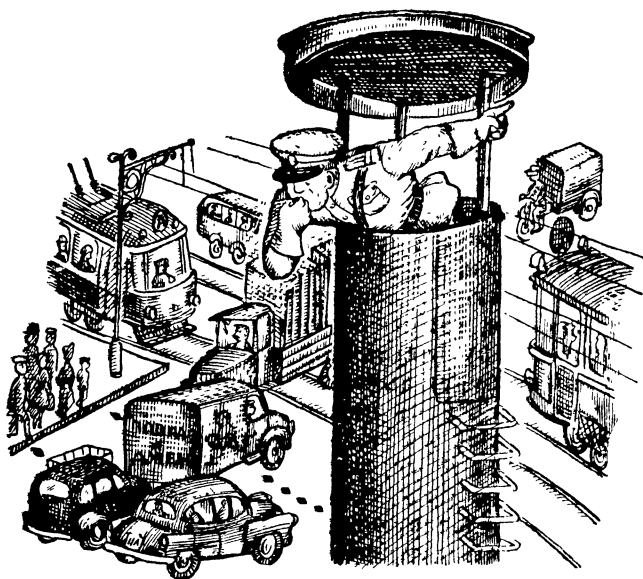
Если поиск ведется в правильном направлении, все кричат «тепло!», если в неправильном — «холодно!». По мере приближения к спрятанному предмету «температура» нарастает— слышатся возгласы «теплее!», «еще теплее!», «очень тепло!». Если мы сравним себя с тем участником игры, который ищет и приближается к цели, то публика уже может кричать «горячо, очень горячо!». Несмотря на все отклонения в сторону, забегания вперед и отступления назад, мы, наконец, добрались до главного результата работы детектора, результата, ради которого и нужен детектор.

Мы уже говорили, что можно получить синтетический пульсирующий ток, пустив в общую цепь постоянную и переменную составляющие, взятые из отдельных генераторов. Ну, а подумайте, какой пульсирующий ток мы получим, если роль этих генераторов будут выполнять обычная батарейка и микрофон, установленный на передатчике. Догадались? Ну, конечно! В этом случае мы получим низкочастотный пульсирующий ток точно такой же, какой протекает в цепи детектора (рис. 23, *е*). И, наоборот, если мы в детекторе отделим от низкочастотного пульсирующего тока постоянную составляющую (рис. 23, *з*), то получим (рис. 23, *ж*) копию переменного тока, созданного микрофоном. Этот низкочастотный переменный ток можно пропустить через звуковую катушку громкоговорителя и получить при этом такой же звук, какой заставил колебаться диффузор микрофона.

Вот и замкнулась наша цепь — звук прошел длинный путь от микрофона до громкоговорителя, как любят говорить радиоспециалисты, «от уха до уха». На этом длинном пути произошло множество интересных преобразований. Вначале звук превратился в низкочастотный ток, а он в свою очередь модулировал ток высокой частоты, затем с помощью модулированного высокочастотного тока мы излучили в пространство радиоволны, которые, добравшись до антенны приемника, создали в ней копию своего «родителя» — такой же, как и в передающей антенне модулированный ток высокой частоты. С помощью детектора мы преобразовали этот ток в пульсирующий и, наконец, выделили из него низкочастотную составляющую (рис. 23, *ж*), которая направилась в громкоговоритель для того, чтобы воссоздать первоначальный звук.

Мы, правда, несколько преждевременно употребили слово «выделили». Пока мы еще ничего не выделили, пока мы только отметили, что пульсирующий ток в цепи детектора можно разделить на три составляющие — высокочастотную, постоянную и нужную нам низкочастотную. Но как произвести их разделение, как отделить и направить в громкоговоритель ток низкой частоты, без каких бы то ни было посторонних «примесей»?

Решить эту задачу можно только с помощью электрических фильтров.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Настало время выяснить то, что было недосказано о разделении сигналов на составляющие. Впервые мы заговорили об этом, когда возникла необходимость отличать звуковые колебания одной и той же частоты, но с различной тембровой окраской, с различной формой кривой. Тогда-то мы и ввели понятие о спектральном составе звука, вспомнили, что наш слуховой аппарат разделяет любой сложный звук на синусоидальные составляющие и затем уже анализирует их частоты и соотношение амплитуд. Каким образом все это осуществляется практически, мы тогда не сказали — этой, пока еще не очень ясной проблемой занимаются физиологи, а не радисты.

С помощью микрофона звуковые волны преобразуются в переменный электрический ток. Здесь мы опять намекнули, что протекающий в цепи микрофона ток сложной формы можно разбить, или, как говорят обычно, разложить на синусоидальные токи примерно так же, как ухо разделяет на составляющие сложный звук. И опять мы не сказали, как можно практически осуществить подобное разделение, теперь уже

электрического сигнала. Правда, в этом случае никаких неясностей нет и можно было бы все объяснить, но мы к этому просто не были подготовлены.

Наконец, в предыдущей главе мы опять столкнулись с разделением электрического сигнала на составляющие — сначала немодулированный пульсирующий ток был представлен в виде суммы постоянной и высокочастотной составляющих, затем модулированный ток в виде суммы постоянной, высокочастотной и низкочастотной составляющих. Выделение тока низкой частоты — задача, имеющая для нас первостепенное практическое значение. Поэтому настал момент «раскрыть карты» и мы выводим на арену электрические фильтры — устройства для разделения сложных электрических сигналов на различные составляющие.

Прежде всего полезно еще раз задуматься над вопросом, а что это, собственно говоря, значит: разделить сложный ток на составляющие? Если вам захочется найти какое-нибудь сравнение, помогающее лучше понять этот процесс, то ни в коем случае не отправляйтесь за примерами в автомобильную или часовую мастерскую. Правда, там в основном только тем и занимаются, что разбирают сложные механизмы на составные части, но ничего общего с «разборкой» сложного тока такое занятие не имеет. В сложном токе вообще нет никаких составных частей, которые можно было бы сравнить со всякими там карбюраторами, амортизаторами или маятниками. Сложный ток можно уподобить массивной каменной глыбе, ну, скажем, бесформенному гранитному монолиту. Именно с этого образа мы в свое время начинали разговор о спектральном составе сложного звука. Этот образ сохраняет свою достовер-

ОЛОВО, КАНИФОЛЬ И НИКАКИХ ФАНТАЗИЙ!

При ремонте электрического утюга или настольной лампы вы соединяете провода, просто скручивая их. В радиоэлектронной аппаратуре все соединения осуществляются только с помощью пайки. В джунглях монтажных проводов, сопротивлений, конденсаторов и катушек удобней всего пробираться с небольшим горцовым электрическим паяльником. Паять нужно быстро и аккуратно — многие детали, например полупроводниковые диоды и триоды, могут выйти из строя из-за перегрева. Для пайки применяется один из оловянных припоев, например,

сплав 60% олова и 40% свинца. Однако никакая пайка не будет держаться, если пользоваться только одним припоем. К нему обязательно нужен «гарнир» — канифоль. Она очищает место спая от окислов и создает условия для прочного соединения металлов. Перед тем как паять какой-нибудь провод, его нужно зачистить и с помощью канифоли залудить — покрыть тонким слоем припоя. Некоторые радиолюбители, когда у них не оказывается под руками канифоли, начинают искать какую-нибудь «похожую» замену. Пробуют воск, стеарин, смолу и даже кислоту... Результат почти всегда одинаков — пайка довольно быстро отваливается.

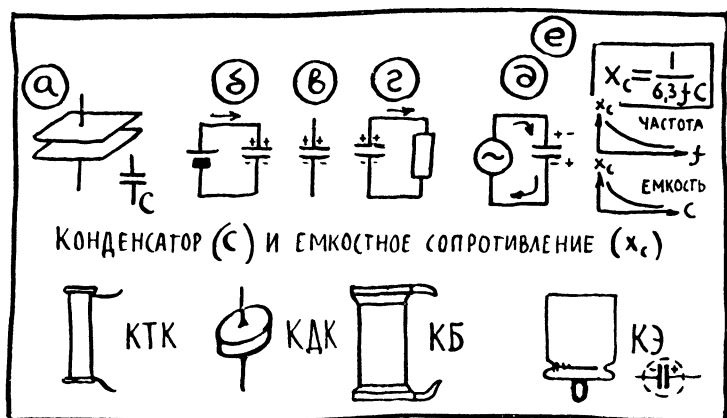


Рис. 21.

ность и сейчас, когда речь идет о разделении сложного тока на составляющие.

Для того чтобы разрезать бесформенную глыбу, например, на большие и маленькие кубы или шары, нужно иметь специальные шаблоны. Глыба, если можно так выразиться, дает материал, обеспечивает массу и только с помощью определенных шаблонов из этой массы удастся выделить куски нужной формы. Подобно этому сложный ток обеспечивает только движение электрических зарядов, представляет в наше распоряжение их энергию. Нам предстоит найти такие устройства, такие электрические «шаблоны», которые могли бы выделить нужные нам электрические составляющие, например, синусоидальные токи различных частот или переменные и постоянные токи. Подобные шаблоны можно построить из реактивных электрических элементов — конденсаторов и катушек индуктивности.

В принципе конденсатор устроен очень просто — в нем имеются две металлические пластины, между которыми находится тонкий слой изолятора (рис. 21, а). От пластин — их часто называют обкладками — сделаны проволочные выводы, с помощью которых конденсатор можно включить в электрическую цепь. В качестве изолятора могут применяться самые различные вещества, но чаще других встречаются воздушные, слюдяные, керамические, бумажные и стиррофлексные конденсаторы. Вы уже, наверное, догадались, что в данном случае название конденсаторов говорит о том, какое изолирующее вещество находится между обкладками. Иногда в названии включают еще и особенности конструкции. Например, название КДК относится к керамическому конденсатору с обкладками в виде плоских дисков. В керамическом конденсаторе КТК

обкладки выполнены в виде двух вставленных одна в другую концентрических трубок, между которыми находится тонкий слой керамики.

Включение конденсатора в цепь постоянного тока равносильно разрыву этой цепи — через изолирующую прослойку, а значит и через весь конденсатор ток пройти не сможет. Но из этого совсем не следует, что конденсатор можно приравнять к обычному выключателю. Истинное назначение конденсатора — слово это означает «накопитель» — станет ясным, если мы посмотрим, какие изменения происходят в самом конденсаторе после его включения в цепь.

Прежде всего, конденсатор зарядится от батареи и на обкладках его накопятся избыточные заряды (рис. 21, б). С этой обкладки, которая подключена к плюсу батареи, уйдут свободные электроны, и на этой обкладке появится положительный заряд. На другой обкладке, наоборот, окажется «—», так как туда, естественно, хлынут свободные электроны с «минуса» батареи. Эти заряды сохранятся на обкладках и после отключения конденсатора (рис. 21, в). А куда им деваться? Обкладки изолированы от всего мира и никуда свободные заряды с них уйти не могут. Кроме того, положительные и отрицательные заряды, скопившиеся на обкладках, через изолирующую про-

ПОПУЛЯРНАЯ ЕДИНИЦА

Единицу измерения децибел (дб) вы можете встретить повсюду — там, где идет речь о токе, напряжении, мощности, звуковом давлении, усилении, ослаблении, там, где нужно дать характеристику выпрямителю, антенне, фильтру,

контуру, усилителю... Такая универсальность объясняется тем, что децибел не относится только к току, только к напряжению или только к мощности. Он характеризует отношение двух величин, то есть показывает, во сколько раз (вторая и третья строка таблицы) одна из них больше или меньше другой.

Децибелы (дб)	1	2	3	6	10	20	30	40	50	60
Усиление (ослабление) напряжения	1,112	1,26	1,41	2	3,16	10	31,6	100	316	1000
Усиление (ослабление) мощности	1,26	1,58	2	3,48	10	100	1000	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶

В децибелах очень удобно выражать неравномерность частотной характеристики, избирательные свойства контура, эффективность фильтров, подавление фона, уси-

ление или ослабление. В последнем случае знак плюс говорит о том, что происходит усиление, знак минус — ослабление сигнала.

слойку притягивают друг друга. Само собой разумеется, что такое взаимное притяжение осуществляется через электрическое поле, которое в основном образуется между обкладками. В этом поле сосредоточены запасы энергии, которые конденсатор успел получить у батареи.

Заряды, накопившиеся на обкладках, притягивают друг друга, но встретиться никак не могут — не в силах преодолеть сопротивление изолирующей прослойки. Ну а что, если им помочь? Что, если соединить обкладки просторной дорожкой — проводником? Конечно, в этом случае электрическое поле заработает вовсю — оно двинет свободные электроны по проводнику на ту обкладку, где их не хватает, то есть на обкладку, заряженную положительно. При этом в цепи, так же как и во время заряда, появится кратковременный ток, который прекратится, как только конденсатор полностью разрядится и на его обкладках не останется лишних зарядов (рис. 21, з).

Сейчас мы вплотную подошли к очень важному свойству конденсатора — он пропускает переменный ток и поэтому может использоваться для разделения постоянных и переменных составляющих. Кроме того, он по-разному реагирует на переменные токи различной частоты и формы и поэтому может использоваться для отделения одних переменных токов от других. Однако прежде чем пояснить и комментировать эти свойства, еще несколько слов о самом конденсаторе.

Как вы думаете, от чего зависит количество зарядов, накопившихся на обкладках? Да, правильно — от напряжения, приложенного к конденсатору. Чем больше это напряжение, тем больше зарядов «втиснет» батарея на обкладки. Но напряжение — еще не все. Многое зависит и от устройства самого конденсатора, в частности, от площади его обкладок, расстояния между ними и материала, из которого сделана изолирующая прослойка. Чем больше обкладки, тем больше зарядов разместится на них при одном и том же напряжении батареи. Чем меньше расстояние между обкладками, тем сильнее заряды притягивают друг друга, тем опять-таки больше этих зарядов сможет удержать конденсатор. Ну и, наконец, изолятор — от его свойств зависит концентрация электрического поля между обкладками, а это поле, как уже говорилось, главное действующее лицо в процессе накопления зарядов. Так, например, если в конденсатор с воздушной прослойкой вставить особый вид керамики — титанат бария, то поле между обкладками усилится в несколько тысяч раз и в такое же число раз возрастет количество накопленных зарядов.

Способность конденсатора накапливать заряды характеризуется специальным коэффициентом — электрической емкостью. Единицей емкости является фарада (ϕ). Такой емкостью обладает конденсатор, который под действием напря-

жения в 1 в накапливает заряд в 1 к. Вместо слова «обладает» правильней сказать «обладал бы» — фарада настолько большая величина, что конденсаторов с такой емкостью практически не существует. На практике мы имеем дело с конденсаторами, емкость которых измеряется микрофарадами (*мкф*, миллионная часть фарады) и пикофарадами (*пф*, миллионная часть микрофарады).

Емкость конденсатора сокращенно обозначается буквой *C*. Этой же буквой на схемах и чертежах обозначаются и сами конденсаторы.

Кроме емкости, у конденсатора есть еще одна характеристика, с которой нам полезно познакомиться. Это так называемое рабочее напряжение. Оно оговаривает условия, в которых конденсатор может безопасно работать. Если подвести к конденсатору напряжение больше допустимого, то может произойти пробой — диэлектрик разрушится, между обкладками проскочит импульс тока, обкладки на каком-то участке расплавятся и соединятся друг с другом накоротко. Конденсатор превратится в обычный проводник.

Самое главное, на что вам следовало обратить внимание, так это на неточность заявления, что включение конденсатора в цепь приравнивается к разрыву этой цепи. В разорванной цепи тока не бывает, а вот в цепи, куда включен конденсатор, мы сами дважды наблюдали движение зарядов. Первый раз — когда происходил заряд конденсатора, второй раз — во время его разряда. Для того, чтобы было легче вывести из этих частных случаев общее правило, сделаем еще один мысленный эксперимент. Возьмем цепь, с которой мы начинали (батарея, лампочка, конденсатор), и каким-нибудь «волшебным» способом увеличим напряжение батареи. При этом к обкладкам двинутся дополнительные заряды, и в цепи опять появится кратковременный ток. Уменьшим напряжение, и некоторая часть зарядов вернется обратно к батарее — в цепи снова появится импульс тока, но уже обратного направления. Теперь уже общее правило напрашивается само собой — при всяком изменении напряжения в цепи, где имеется конденсатор, будет наблюдаться ток. Заметьте — это очень важно — ток появляется только при изменении напряжения.

Все, о чем только что говорилось, позволяет легче понять, что произойдет, если подключить конденсатор к генератору переменного напряжения (рис. 21, *д*). Если напряжение все время меняется, то меняется и количество зарядов на обкладках, а значит, заряды постоянно движутся от генератора к обкладкам или обратно. В цепи все время протекает переменный ток.

Теперь легко сообразить, что будет, если мы подведем к конденсатору пульсирующее напряжение. Его постоянная составляющая не создаст тока в цепи конденсатора, а перемен-

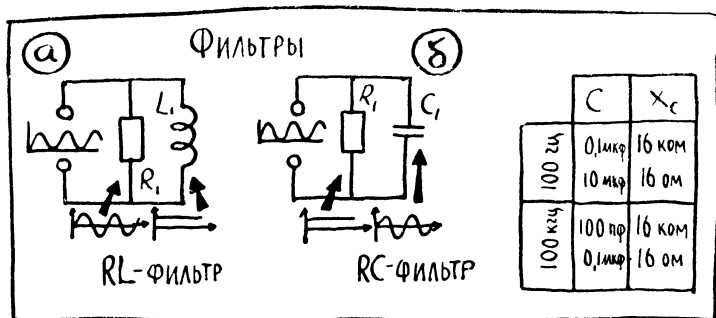


Рис. 22.

ная — делает это. Таким образом, конденсатор отделит переменную составляющую от постоянной. На рис. 22, б показана простейшая практическая схема, с помощью которой решается подобная задача. Это так называемый *RC-фильтр*, в котором переменная составляющая пульсирующего тока идет через конденсатор C_1 , а постоянная — через сопротивление R_1 . Приведенная схема, если ее использовать в детекторе, может легко отделить высокочастотную составляющую в том случае, когда сигнал не модулирован. А что будет во время модуляции? В этом случае у нас уже появляются две переменные составляющие — низкочастотная и высокочастотная. А вот как их разделить? И эту задачу можно решить с помощью *RC-фильтров*, но уже более сложных (рис. 23).

Под действием переменного напряжения через конденсатор проходит переменный ток. Ну а какова величина этого тока? От чего она зависит? Ответ на этот вопрос дает закон Ома для цепи переменного тока, очень похожий на закон, который мы вывели для тока постоянного. Основное отличие состоит в том, что вместо хорошо знакомого нам сопротивления появляется так называемое емкостное сопротивление конденсатора, обозначаемое x_c (рис. 21, е). Оно так же, как и R , измеряется в омах, так же устанавливает связь между током и напряжением, однако емкостное сопротивление связано совсем с другими физическими процессами и поэтому имеет совсем другой смысл.

Прежде чем говорить подробно о емкостном сопротивлении, напомним еще раз, что такое величина, или, как еще говорят, сила тока. Величина тока показывает количество зарядов, которое проходит через какой-нибудь участок цепи за единицу времени. Чем быстрее движутся заряды, чем более массовый характер носит их движение, тем больше ток.

Теперь можно без долгих пояснений сказать, что величина тока в цепи с конденсатором зависит от его емкости. Чем больше емкость, тем больше зарядов участвует в зарядном и раз-

рядном токе. Однако это еще не все. В определении величины тока четко сказано, что мы учитываем не общее количество зарядов, проходящих мимо условного контрольного пункта, а количество, которое приходится на единицу времени. Отсюда следует, что величина тока в цепи с конденсатором зависит еще и от частоты самого тока. При изменении частоты количество движущихся зарядов не меняется, но зато они быстрее или медленнее совершают цикл заряд — разряд. Так, например, с увеличением частоты ток в цепи с конденсатором растет.

Если все эти рассуждения отнести к емкостному сопротивлению, то получится, что с увеличением емкости и частоты это сопротивление уменьшается. Конденсатор лучше пропускает тот ток, который имеет более высокую частоту. И дальше, для тока одной и той же частоты меньшее сопротивление будет оказывать конденсатор с большей емкостью (рис. 21, е). Вот теперь давайте посмотрим на реальную, хотя и не окончательную схему детектора (рис. 23, и).

Из «черного ящика» — в него мы пока поместили все, что находится между антенной и детектором — выводится высоко-

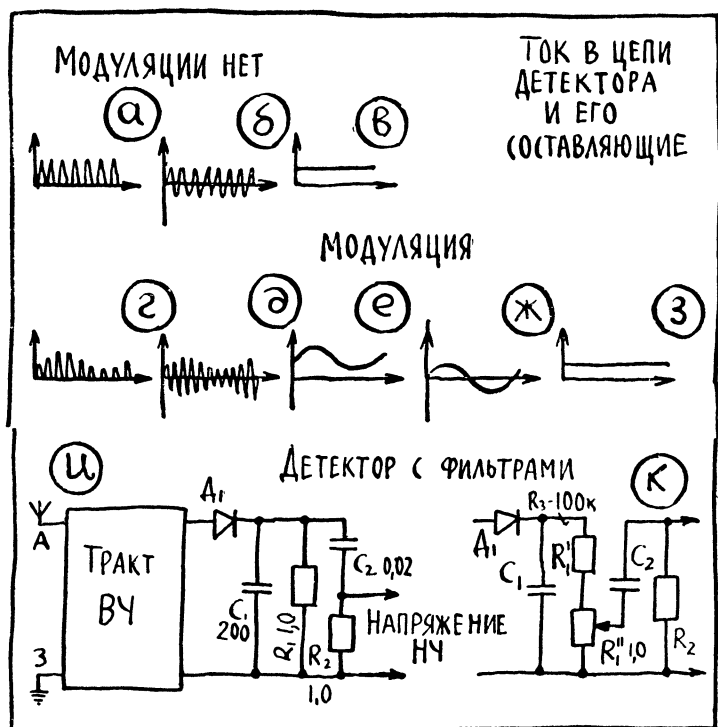


Рис. 23.

частотное модулированное напряжение. Оно подводится к детекторному узлу, или, как еще говорят, к детекторному каскаду, в который, как обычно, входит диод D_1 и три фильтрующие цепи. По одной из них через сопротивление R_1 проходит постоянная составляющая продетектированного сигнала. Другого пути для этой составляющей нет, так как в каждой из двух остальных цепей имеется конденсатор — препятствие для постоянного тока непреодолимое.

Высокочастотная составляющая пройдет через конденсатор C_1 . Несмотря на сравнительно небольшую емкость этот конденсатор не представляет заметного сопротивления для высокочастотного тока — мы только на предыдущей странице отметили, что емкостное сопротивление уменьшается с увеличением частоты. Высокочастотная составляющая могла бы еще легче пройти через конденсатор C_2 , емкость которого во много раз больше, а емкостное сопротивление, следовательно, во столько же раз меньше, чем у C_1 . Однако последовательно с C_2 включено большое сопротивление R_2 и поэтому общее сопротивление цепи R_2C_2 для высокочастотного тока оказывается больше, чем емкостное сопротивление конденсатора C_1 .

Теперь попробуем выяснить, куда направится низкочастотная составляющая. Через C_1 она не пойдет — слишком мала емкость этого конденсатора и поэтому слишком велико его сопротивление для низкочастотного тока. Сравнительно легко пройдет низкочастотная составляющая по цепи R_2C_2 (даже на низких частотах конденсатор C_2 благодаря значительной емкости не оказывает заметного сопротивления), а также частично по сопротивлению R_1 . Ответвление низкочастотного тока в сопротивление R_1 это своего рода потеря, но с ними можно

ПРОВОД ОДЕВАЕТ КОЛЬЧУГУ

Несколько проводов в своеобразной кольчуге — плетеной металлической оболочке — можно увидеть почти в каждом приемнике. Такая защита (ее называют экраном, а сам провод — экранированным) нужна, чтобы укрыть провод от внешних электромагнитных полей. В частности, большую опасность представляют поля, создаваемые обычной электрической сетью переменного тока. Под действием этих полей в каждом проводнике, так же как и в обычной приемной антенне, наводится переменное напряжение с частотой 50 гц. Если такая наводка появляется в цепи детектора

или в сеточной цепи первой лампы усилителя НЧ, то в громкоговорителе она превращается в громкий (часто говорят, «сильный») гул — фон переменного тока. Даже на небольшом проводнике наводки создают напряжение в несколько милливольт, а иногда и несколько десятков милливольт. Такую же величину может иметь и полезный сигнал на входе усилителя. А поскольку весь дальнейший путь сигнал и наводка проходят вместе, то и на выходе усилителя соотношение между фоном и сигналом оказывается таким же, как на входе первой лампы. Наводки, появляющиеся в сеточной цепи выходной лампы, не столь неприятны. Здесь после уси-

мириться. Главная же задача решена нами без всяких скидок и абсолютно точно — мы разделили высокочастотный модулированный пульсирующий ток на три составляющие и одну из них, а именно низкочастотную, выделили в чистом виде, без примесей. Проходя по R_2 , переменный ток низкой частоты создаст на этом сопротивлении такое же по частоте и форме кривой низкочастотное напряжение, которое мы в итоге направим к громкоговорителю.

Мы довольно подробно, а может быть даже слишком подробно, разобрали работу простейших фильтров детекторного каскада. Сделано это потому, что фильтры встречаются в радиоэлектронной аппаратуре буквально на каждом шагу, а сейчас нам попался весьма типичный пример построения фильтрующих цепей. Хочется верить, что время и энергия, затраченные на знакомство с фильтрами детектора, не пропадут напрасно. В дальнейшем, когда речь будет идти о фильтрах, мы будем понимать друг друга буквально с полуслова.

В расчете на будущее хочется обратить внимание и еще на одну весьма важную деталь. Вы уже заметили, что низкочастотная составляющая помимо нашего желания шла туда, куда ей идти не следовало, а именно по сопротивлению R_1 . Более того, некоторая, хотя и очень небольшая, часть низкочастотного тока пройдет и через конденсатор C_1 — он создает хотя и большое, но все же не бесконечное сопротивление для этого тока. Если посчитать поточнее, то окажется, что незначительная часть высокочастотной составляющей вторгнется во владения низкой частоты — пойдет по цепи R_2C_2 . В общем, когда речь идет о разделении частот, то идеальных

ления в первом каскаде напряжения сигнала достигает чешкольных вольт, и сигнал оказывается во много раз больше наводки. Для высокочастотных каскадов электромагнитные волны низкой (сетевой) частоты практически совсем не страшны — здесь просто нет путей, по которым низкочастотный сигнал мог бы пройти с одного каскада в другой. Однако в тракте ВЧ существует другая опасность — высокочастотные токи в анодных цепях ламп тоже излучают и, воздействуя таким образом на сеточные цепи, создают «незапланированную» обратную связь. Поэтому высокочастотные контуры, особенно контуры ПЧ, одевают в броню, заключают их в

тонкие алюминиевые экраны, а монтажные провода в анодных и сеточных цепях располагают так, чтобы они как можно слабее были связаны друг с другом. В заключение самое важное — любой экран обязательно нужно заземлить, то есть соединить с металлическим шасси. Только в этом случае он примет на себя удар электромагнитных излучений и отведет их от защищаемой цепи. Это относится и к сплошным металлическим экранам, и к экранированному проводу. Кстати, если вам понадобится такой провод, то кольчугу вы легко изготовите сами, намотав поверх изоляции длинную спираль из любого не очень толстого провода.

фильтров нет, и они, кстати, не всегда нужны. Как правило, достаточно лишь ослабить какой-нибудь сигнал в определенное число раз, а не уничтожать его совсем. Поэтому обычно фильтрующие цепи строят, исходя из реальных возможностей и стараются не предъявлять к ним слишком жестких требований.

Теперь, пожалуй, можно было бы переходить к окончательной схеме детекторного каскада, но поскольку мы уже начали говорить о фильтрах, уместно будет рассмотреть еще одну их разновидность.

До сих пор мы с вами разбирали емкостные фильтры, сейчас скажем несколько слов об индуктивных (рис. 22, а).

В фильтрующих цепях конденсатор находит применение только потому, что он оказывает различное сопротивление токам разных частот. Подобными свойствами обладает еще один элемент электрических цепей — катушка индуктивности.

Еще в самом начале книги, вспоминая основы электротехники, мы отметили, что у всякого движущегося заряда появляются магнитные свойства. Это положение можно перенести и на проводник с током — вокруг него всегда существует магнитное поле, причем это поле оказывается тем сильнее, чем больше ток в проводнике. Наряду с увеличением тока есть и другой способ усилить магнитное поле — нужно свернуть проводник в спираль или намотать его на катушку, чтобы магнитные поля отдельных витков суммировались. Совершенно ясно, что чем больше витков в такой катушке, тем, при прочих равных условиях, сильнее будет созданное ею магнитное поле.

Способность катушки создавать магнитное поле характеризуют коэффициентом самоиндукции, который иногда для простоты называют индуктивностью. Чем больше витков в катушке, тем сильнее создаваемое ею магнитное поле, тем больше ее индуктивность. Единицей индуктивности является генри (гн). Определить эту величину мы сможем, если вспомним, что такое электромагнитная индукция.

При всяком изменении магнитного поля — только при изменении — вокруг проводника возникает электрическое поле и на концах этого проводника наводится э. д. с. С этим явлением мы уже встречались, когда говорили об излучении радиоволн и о наведении тока в приемной антенне. То же самое происходит, если менять ток в катушке. Когда мы меняем ток, то на концах катушки наводится электродвижущая сила — так называемая э. д. с. самоиндукции. Величина ее зависит как от скорости изменения тока (а следовательно, и магнитного поля), так и от индуктивности катушки. Из этого и выводится единица коэффициента самоиндукции. Если при скорости изменения тока в катушке на 1 а за 1 сек на ней наводится э. д. с., равная 1 в, то коэффициент самоиндукции (ин-



Рис. 24.

дуктивность) такой катушки равен 1 гн. Генри — величина очень большая — такой индуктивностью обладают катушки, которые содержат много тысяч витков. В приемнике нам приходится иметь дело с катушками, индуктивность которых измеряется в миллигенри (мгн, тысячная часть гн) и микрогенри (мкгн, миллионная часть гн).

Коэффициент самоиндукции сокращенно обозначается буквой L . Этой же буквой на схемах и чертежах обозначаются и сами катушки (рис. 24).

Занимаясь определением коэффициента L , мы как-то незаметно проскочили мимо одной очень важной зависимости, не обратили внимания на то, что величина э. д. с. самоиндукции зависит от скорости изменения тока: чем быстрее меняется ток, тем больше эта э. д. с. Имея уже некоторый опыт с конденсатором, мы можем сразу же перейти к переменному току и отметить, что он создаст на катушке переменную э. д. с. самоиндукции. Величина ее будет тем больше, чем больше L катушки и чем быстрее меняется ток, то есть чем выше его частота.

Мы пока ничего не говорили о полярности, наведенной э. д. с., а этот вопрос имеет очень важное значение. Оказывается, электродвижущая сила самоиндукции всегда действует так, что мешает любому изменению тока. Она действует против тока, когда тот нарастает и поддерживает его, когда ток убывает. Это систематическое противодействие приводит к тому, что наведенная э. д. с. — ее так и называют — противоэ. д. с. — просто уменьшает величину переменного тока и поэтому катушка оказывает ему большое сопротивление. Это сопротивление называется индуктивным и обозначается x_L . Оно очень напоминает емкостное сопротивление конденсатора с той лишь разницей, что при увеличении частоты x_C уменьшается (рис. 21, е), а x_L растет (рис. 24, д): чем больше частота, тем быстрее меняется ток, тем, следовательно, больше величина противодействующей э. д. с.

Теперь мы можем вернуться к тому, с чего начали разговор

о катушке — оказывая разное сопротивление токам различных частот, она может работать в фильтрующих цепях. На рисунке 22, а показан простейший RL — фильтр для разделения постоянной и переменной составляющих пульсирующего тока. Постоянный ток сравнительно легко пройдет через катушку, а для переменной составляющей она будет представлять большое сопротивление. Поэтому переменная составляющая пойдет через R_1 , а постоянная — через L_1 .

Индуктивность катушки, применяемой в фильтре, выбирают с учетом частоты. Для того чтобы получить большое сопротивление на низких частотах, приходится брать катушку с весьма большой индуктивностью, например, несколько десятков генри. Большую индуктивность легче всего получить, если вставить в катушку стальной сердечник. Под действием магнитного поля катушки он намагнитится и во много раз усилит это магнитное поле. Более подробно о катушках и, в частности, о катушках с сердечниками, мы поговорим в следующей главе, а сейчас вернемся к детекторному каскаду и попробуем разобрать его реальную схему (рис. 23, к).

Почти все элементы этой схемы нам уже знакомы. Правда, вместо постоянного сопротивления R_1 включено переменное R''_1 , так что оно образует делитель низкочастотного напряжения. Когда движок, то есть средний подвижной контакт этого сопротивления, находится в верхнем по схеме положении, то мы снимаем с сопротивления R''_1 все образующееся на нем напряжение. Если перевести движок вниз, то напряжение мы вообще не снимем. Во всех промежуточных положениях движка можно получить от детектора большую или меньшую часть выделенного напряжения НЧ. Таким образом, в прием-

НЕ БОЙТЕСЬ ТЕСНОЙ «ОБУВИ»

Если человек носит обувь сорок третьего размера, он едва ли согласится купить 44-й и уж наверняка откажется от 42-го. Так и радиолюбитель, покупая запасную деталь для своего приемника, обычно требует, чтобы ему дали точно такую, какая была. А между прочим, аналогия здесь проводить нельзя. Очень многие детали могут сильно отличаться от тех, что требуется по схеме. Так, в большинстве случаев можно допустить изменение емкости и сопротивления на 10—20%. Более того в некоторых случаях сопротивление или

емкость можно смело увеличить или уменьшить в 1,5—2 раза. Даже силовые и выходные трансформаторы можно брать от других приемников. Значительно хуже обстоит дело с контурными катушками и конденсаторами. Здесь даже небольшое отклонение от необходимой величины влечет за собой расстройку контура, а значит, заметное ухудшение избирательности и чувствительности. И уж совсем нельзя допускать уменьшения рабочего напряжения конденсаторов и мощности рассеивания сопротивлений. В остальном же при замене радиодеталей можно проявлять побольше смелости и решительности, чем при покупке обуви.

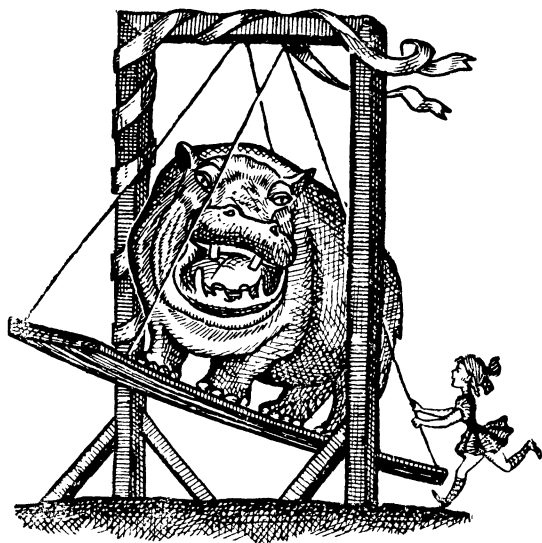
нике обычно осуществляется регулировка громкости. Появившееся в новой схеме сопротивление R'_1 — это дополнительный, образно говоря, аварийный элемент фильтра. Дело в том, что когда движок находится в крайнем верхнем положении, высокочастотная составляющая может «почувствовать лазейку» и ринуться в цепь низкой частоты. Вот на этот случай на пути ВЧ-составляющей (так мы в дальнейшем будем сокращенно обозначать высокую частоту) и устанавливается дополнительное сопротивление R''_1 .

До сих пор мы говорили, что полученное после детектирования напряжение низкой частоты подается на громкоговоритель для воспроизведения звука. Однако в действительности прямой связи детектора с громкоговорителем — слишком слабый низкочастотный сигнал получается после детектирования. Он не только не сдвинет с места диффузор громкоговорителя, но даже не всегда сможет создать слабенький звук с помощью телефона. Одним словом, между детектором и громкоговорителем нам придется включить еще один «черный ящик» — в нем будет находиться пока загадочный для нас низкочастотный усилительный тракт. Что же касается «черного ящика», который стоит между детектором и антенной, то совершенно ясно, что в нем будет происходить «обработка» высокочастотного сигнала и поэтому его можно теперь называть трактом высокой частоты.

Вы, конечно, можете спросить, а не слишком ли много «черных ящиков»? И действительно, мы с вами уже прошли почти треть пути, а из настоящего приемника знакомы только с детектором. Когда же нам будут представлены и другие узлы, когда они выйдут из «черных ящиков» и расскажут о своем устройстве? Почему бы, например, не начать с антенны и, следуя за сигналом, разобрать все, что встречается на его пути?

Это, к сожалению, невозможно. Уже на первых шагах мы столкнулись бы с серьезными трудностями, обнаружив, что совсем не готовы к генеральному наступлению. В нашем случае приходится поступать примерно так, как поступают в сложной шахматной партии. Сначала готовится плацдарм, укрепляются тылы, группируются фигуры, и только после тщательной и серьезной подготовки начинается атака. Мы с вами уже выполнили большую часть программы. Осталось сделать еще два очень важных, едва ли не самых важных, шага. Нужно выяснить, как осуществляется усиление сигнала и что обеспечивает необходимую избирательность, то есть выделение сигнала только нужной нам станции.

Этими двумя вопросами мы сейчас и займемся. Начнем с избирательности.



В МИРЕ КАЧАЮЩИХСЯ МАЯТНИКОВ

Даже в самых общих чертах очень трудно рассказать о многообразии, о богатстве окружающего нас мира. Мириады солнц, разбросанных в бесконечных просторах Вселенной, и странный мир атома, тончайшие молекулярные механизмы живой клетки и могучие машины, увеличивающие в тысячи раз силу наших мускулов, океаны энергии, выделяемые при внутриядерных реакциях, и чудо природы — человеческий мозг, энергетический баланс которого составляет всего несколько ватт. Но во всем этом многообразии, среди, казалось бы, самых разных и никак не связанных процессов и явлений, обнаруживаются общие черты, изумительные по своей универсальности структуры и закономерности.

Планетарная модель атома напоминает солнечную систему, сила взаимодействия электрических зарядов находится в такой же зависимости от расстояния, как и сила взаимного притяжения двух масс, по одним и тем же формулам можно рассчитать движение электрона в электрическом поле и полет космического корабля в гравитационном поле Земли...

В числе многих и многих похожих друг на друга процессов есть такие, которые сейчас интересуют нас больше всего.

Это — периодические колебания. Именно периодичность, через равные промежутки времени чередующиеся движения туда и обратно — вот один из главных признаков таких колебаний.

Слово «движение» здесь, конечно, имеет очень широкий смысл. Оно включает, например, обычные механические перемещения, которые играют главную роль в колебаниях маятника (рис. 25, а, б), железнодорожного моста или гитарной струны. В основе колебаний могут лежать и другие формы движения, в частности, изменения электрического и магнитного поля, с которыми мы уже встречались. Можно привести также примеры тепловых колебаний, в колебательном режиме работают некоторые типы атомных реакторов, известны химические колебания, которыми сопровождается целый ряд периодических реакций. Даже в поведении человека можно наблюдать колебания, ну, скажем, когда в самом начале «новой цветной кинокомедии» он никак не может решить, что делать — уходить ли сразу или все-таки дотерпеть до конца.

Из многих разновидностей колебательных систем нас сейчас интересует один класс, типичным представителем которого является гитарная струна. Прежде всего отметим: чтобы в подобной системе возникли колебания, ей нужно передать некоторое количество энергии — для того, чтобы струна пришла в движение, ее нужно сдвинуть с места. Но это еще не все.

Система должна иметь, как минимум, два накопителя энергии, точнее говоря, уметь сохранять полученную энергию, как минимум, в двух взаимосвязанных видах. Так, в частности, когда мы натягиваем струну, она запасает потенциальную энергию за счет упругой деформации металла. Когда же струна движется, то она, как всякое движущееся тело, обладает некоторым запасом кинетической энергии. Взаимная связь этих видов энергии очевидна — потенциальная энергия может переходить в кинетическую, кинетическая — в потенциальную. Но и это еще не все.

Система должна иметь положение устойчивого равнове-

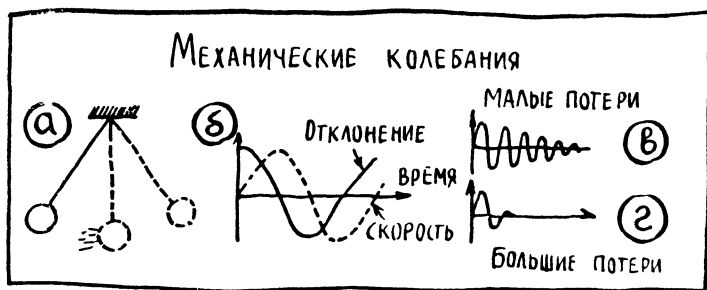


Рис. 25.

сия — в нашем примере это средняя линия, нейтральное положение струны. Относительно этого устойчивого состояния происходят отклонения в ту или иную сторону, происходят колебания. В их основе лежит переход энергии из одного вида в другой, непрерывный обмен энергией между двумя накопителями, например, между упругостью струны и ее массой.

Струна натянута, и первый накопитель—упругость—получил определенную порцию энергии. Теперь отпустите струну—она стремится вернуться в устойчивое состояние и движется по направлению к средней линии. При этом натяжение струны уменьшается, и первый накопитель теряет запасенную энергию, она переходит во власть второго накопителя — массы, превращается в кинетическую энергию, энергию движения.

По мере приближения к средней линии скорость струны нарастает, ее кинетическая энергия увеличивается. Попав, наконец, в свое устойчивое положение, поравнявшись со средней линией, струна не может там удержаться и по инерции будет двигаться дальше. Остановка произойдет лишь тогда, когда энергия движения, связанная со вторым накопителем — массой, будет полностью израсходована. Но ведь в этот момент струна опять окажется изогнутой, правда, в противоположную сторону, но все-таки изогнутой, то есть опять окажется в неустойчивом состоянии, опять с запасом энергии упругой деформации! Поэтому, остановившись на какое-то мгновение, струна опять начнет двигаться, теперь уже в обратную сторону, потенциальная энергия снова будет переходить в кинетическую, а та в свою очередь, когда будет пройдена средняя линия, перейдет в потенциальную. Так будет продолжаться до тех пор, пока колебания не затухнут.

Во всякой реальной системе существуют потери энергии. В частности, струна преодолевает сопротивление воздуха, а также внутреннее трение, препятствующее ее изгибу. Постепенно потери «съедают» весь первоначальный энергетический запас. Чем больше потери, чем большую часть своих запасов система должна затрачивать на их преодоление, тем, следовательно, быстрее закончатся обменные процессы: когда энергия израсходована, накопителям просто нечем обмениваться. При очень больших потерях колебания могут даже не возникнуть — например, маятник с очень сильным трением в подшипнике медленно приближается к средней линии и не в состоянии перейти через нее.

У колебательной системы есть особая характеристика — добротность. Она показывает, во сколько раз энергия, которую в процессе обмена захватывают накопители, больше энергии, теряемой безвозвратно в течение периода, например, превращаемой в тепло из-за трения в подшипниках маятника или излучаемой в виде звуковых волн колеблющейся струной. Простая логика подсказывает, что чем меньше потери, то есть,

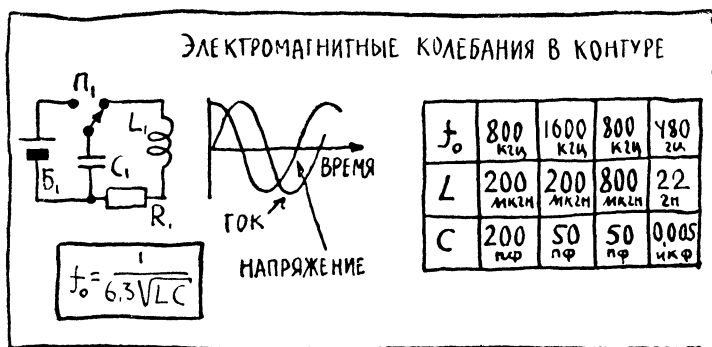


Рис. 26.

чем выше добротность системы, тем дольше существуют колебания в ней, тем медленнее они затухают (рис. 25, в, г).

Ну и, наконец, еще два замечания, теперь уже относительно самого хода колебаний. Прежде всего отметим, что в простейшей колебательной системе график, описывающий ход процесса, скажем, отклонение маятника от средней линии или изменение его скорости — это почти синусоида. Чем меньше потери, тем меньшее значение имеет это «почти». Сказанное относится к любым простейшим системам — механическим, тепловым, химическим, электромагнитным. Подобная универсальность синусоиды совсем не случайна, связана она с рядом особых математических свойств этой гармоничной кривой.

Время, в течение которого происходит полный цикл колебаний, называется периодом, а число периодов за секунду — частотой.

Обе эти величины зависят от скорости колебательного процесса, от того, насколько быстро накопители обмениваются энергией, то есть, в конечном итоге, зависят от свойств, или, как принято говорить, от параметров этих накопителей. К примеру, частота колебаний струны зависит от ее упругости и массы. Чем массивнее струна, тем медленнее она набирает и сбрасывает скорость, тем меньше частота. Понижается частота и при уменьшении упругости, струна становится более вялой, она медленнее накапливает и отдает потенциальную энергию упругой деформации. Обе эти зависимости прекрасно иллюстрирует гитара — чем массивней, толще ее струна, тем медленней ее колебания, тем ниже частота звука. Кроме того, частота колебаний любой струны уменьшается, если ослабить ее натяжение, снизить упругость. Подобная зависимость частоты от параметров системы так же является универсальной и относится ко всем без исключения видам колебаний.

Начатый рассказ о колебательных процессах можно было бы продолжить, вспомнив о многих интересных системах, например, о периодических колебаниях планет, о многочисленных колебательных процессах в микромире, о сложных колебаниях, определяющих ритмы работы головного мозга, о гипотезе пульсирующей Вселенной. Однако, на все это у нас, к сожалению, нет времени. Нас ждет, то, из-за чего, собственно говоря, и был начат разговор о колебаниях. Нас ждет важнейшая электрическая цепь, без которой не обходится ни один настоящий радиоприемник. Нас ждет знакомство с колебательным контуром.

Соединим конденсатор с катушкой индуктивности и введем в эту цепь — именно она и называется колебательным контуром — некоторое количество энергии. Сделать это можно двумя способами — зарядить конденсатор и таким образом создать в нем электрическое поле или же создать магнитное поле в катушке, пропустив через нее постоянный ток. В обоих случаях результат будет один — в системе начнутся электромагнитные колебания.

Допустим, энергия поступила в конденсатор (рис. 26). Стремясь к устойчивому состоянию, он разряжается, в цепи идет ток, и в катушке возникает магнитное поле. Ток не прекратится и после полного разряда конденсатора. Теперь уже двигать заряды будет убывающее магнитное поле — как и при всяком изменении магнитного поля, на катушке будет наведена э. д. с. самоиндукции, которая и поддержит ток в цепи. В результате заряды опять будут накапливаться на обкладках конденсатора и он опять окажется в неустойчивом состоянии, опять окажется заряженным, правда, теперь уже в противоположной полярности. Когда магнитное поле исчезнет, все повторится сначала — разряд конденсатора, ток, магнитное поле катушки — и снова перезарядка конденсатора. Таким

ВОЛЬТМЕТР БЕЗ СТРЕЛКИ

Для начала вспомним один эпизод из чаплинского фильма «Малыш». Бедняга Чарли долго терпит издевательства распущенного мальчишки, пытается не обращать на него внимания и даже улыбается. Но вот чаша терпения переполнена. Чарли вспыхивает, и на сорванца обрушивается вполне заслуженное наказание.

Что-то похожее происходит и в двухэлектродной неоновой лампочке (а), когда вы увеличиваете подводимое к ней напряжение. Лампочка «терпит-терпит», но

при каком-то определенном напряжении — оно называется напряжением зажигания — «терпению» приходит конец (б), в баллоне начинается интенсивная ионизация газа и лампочка вспыхивает ярким красноватым светом. По этой вспышке и можно определить момент, когда напряжение превысит порог зажигания.

Для распространенных типов неоновых лампочек напряжение зажигания составляет 60—80 в. Подключив такую лампочку к обычному делителю, можно получить простейший вольтметр (в). Он будет сигнализировать о том,

образом и будет непрерывно происходить обмен энергией между двумя накопителями — конденсатором и катушкой... В результате этого обмена в цепи будет протекать переменный ток и на каждом из ее элементов будет действовать переменное напряжение.

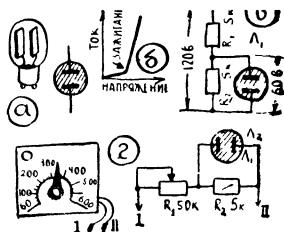
Все это очень напоминает колебания струны — ее упругость можно сравнить с емкостью конденсатора, а массу — с индуктивностью катушки. Обмен же энергией электрического и магнитного поля в точности напоминает обмен потенциальной и кинетической энергией при механических колебаниях. Что касается потерь, то в электрической цепи это не что иное, как сопротивление проводников, потери в изоляторе, а также потери на излучение. Чем больше все виды потерь, в частности, чем больше сопротивление контура, тем хуже его добротность, тем быстрее затухают колебания в этом контуре.

Продолжая эту аналогию, нужно отметить синусоидальную, точнее почти синусоидальную, форму тока и напряжения в колебательном контуре, а также зависимость частоты тока и напряжения от параметров цепи. Так, с увеличением емкости и индуктивности частота уменьшается, так как увеличивается время, необходимое для заряда и разряда конденсатора, а также замедляется процесс появления и исчезновения магнитного поля катушки. Отсюда важный практический вывод — если нужно уменьшить частоту собственных колебаний контура, необходимо увеличить его емкость или индуктивность (рис. 26, таблица).

Следующий шаг, который нам предстоит сделать, можно охарактеризовать одним словом — резонанс. Все вы, конечно, знаете, что это такое, и, наверное, даже слышали интересные и страшные рассказы о резонансе. Например, рассказ о том, как обрушился большой мост, когда по нему в ногу шел полк солдат. Подобно огромной натянутой струне, мост медленно

что напряжение превысило какую-либо величину. Это полезно для контроля сети, когда приемник питается от автотрансформатора. Если подключить лампочку к переменному сопротивлению (2) и снабдить его простейшей шкалой, то, отмечая момент загорания, можно, конечно весьма приблизительно, измерять напряжения от 60—70 в до нескольких сот вольт. Шкалу можно разметить с помощью стрелочного вольтметра постоянного тока. В этом случае при измерении переменных напряжений полученный результат нужно делить на 1,4. Если же прово-

дить градуировку для переменного напряжения (это легко сделать с помощью автотрансформатора), то при измерении постоянных напряжений результат нужно умножать на 1,4.



и незаметно раскачивался, а бравые солдаты, четко отбивая шаг, помогали ему, раскачивая в такт с его собственными колебаниями и постепенно увеличивая их амплитуду. Известны подобные неприятности и в электрических цепях переменного тока, когда оборудование, рассчитанное на 10 000 вольт, из-за резонанса выходило из строя при напряжениях 1000 и даже 200 в. Именно резонанс, который может быть вредным и опасным, используется для того, чтобы выделить сигнал нужной станции из других сигналов, действующих в антенне приемника.

Давайте включим в контур генератор переменного тока и будем постепенно менять его частоту. Резонанс наступит тогда, когда частота генератора окажется равной частоте собственных электромагнитных колебаний в контуре. При этом генератор будет поддерживать ток, своевременно подталкивать заряды и главное — помогать им в борьбе с потерями. Согласованное действие генератора и контура приведет к резкому увеличению тока и напряжения на резонансной частоте. Это явление может послужить прекрасной основой для осуществления избирательности. Последнее станет совсем понятным, если мы сделаем еще один эксперимент.

На этот раз включим в контур не один генератор, а несколько, ну, скажем, сто, десять или хотя бы три (рис. 27, а), причем все они будут давать переменное напряжение с одной и той же амплитудой, например 1 в. Только частота переменного напряжения генераторов будет разной, и среди всех этих частот будет одна избранная f_2 , равная частоте собственных колебаний контура. Для начала попробуем включать генераторы по одному и измерять напряжение на конденсаторе или

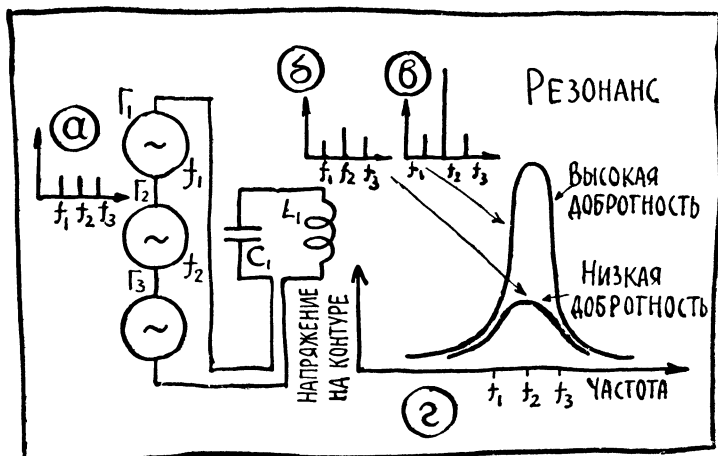


Рис. 27.

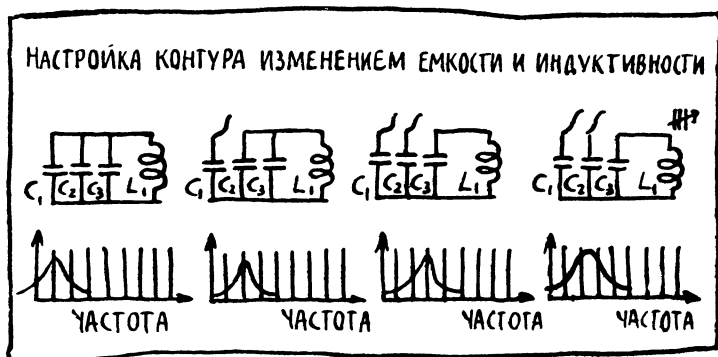


Рис. 28.

на катушке (его называют напряжением на контуре). Во всех случаях это будет сравнительно небольшое напряжение, что-нибудь около 1 в. И только при включении «избранного» генератора напряжение на контуре резко возрастает — оно может превысить несколько десятков и даже несколько сотен вольт.

Как вы уже, наверное, догадались, это и есть следствие резонанса — совпадения частоты генератора с собственной частотой контура. То же самое произойдет и при одновременной работе всех генераторов — контур выделит из общей массы и резко увеличит напряжение одного из них: именно того, который создает в контуре резонанс. Контур можно смело называть резонансным фильтром, фильтром, подавляющим все колебания и пропускающим только одну частоту (рис. 27, б, в).

Иногда в качестве иллюстрации явления резонанса рисую качели, на которых уселся огромный бегемот, и маленькую девочку, раскачивающую эти качели. Девочка наверняка не знает, что такое резонанс (в детском саду об этом пока не рассказывают), но хорошо использует его. Она раскачивает качели в такт с их собственными колебаниями, и таким образом демонстрирует модель генератора, работающего на резонансной частоте. Эффект получается огромный — качели поднимаются так высоко, что у бедного бегемота, наверное, сердце уходит в пятки, а собравшаяся вокруг публика никак не может понять, откуда у маленькой девочки такая сила.

Способность контура из многих переменных токов выделять только тот, для которого выполняются условия резонанса, можно было бы иллюстрировать известной пословицей: «Свой свояка видит издалека». Однако сказать так о контуре, это значит в известной степени перехвалить его. Оказывается, контур «видит» не только «сваяка» и уж во всяком случае не издалека. Для того чтобы это стало понятней, нам придется затронуть очень важный вопрос — посмотреть, как влияет на

резонансные явления добротность колебательного контура. Мы уже вскользь заметили, что при резонансе энергия генератора в основном тратится на преодоление потерь. Чем меньше потери в контуре, то есть, чем выше его добротность, тем сильнее генератор сможет раскачивать заряды, тем больше будет напряжение и ток в контуре во время резонанса (рис. 27, г). Для реальных контуров коэффициент добротности достигает 100, и при этом резонансное напряжение может оказаться в 100 раз больше напряжения генератора.

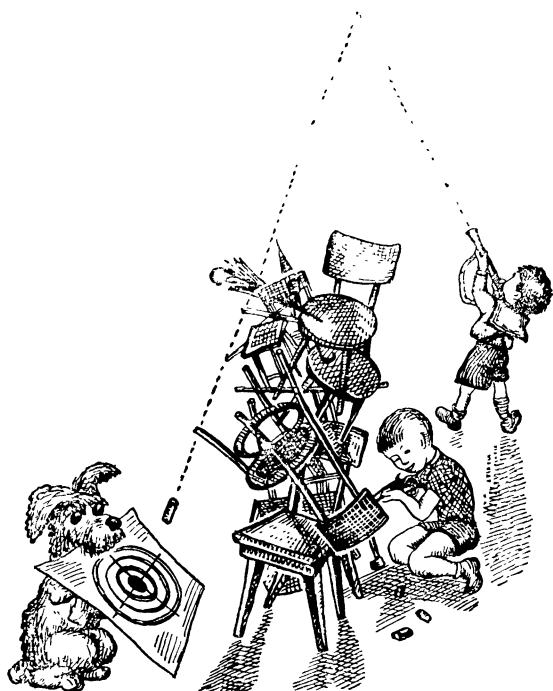
Но этим не ограничивается значение добротности. Вернемся к первому эксперименту, когда в контур был включен генератор и мы плавно изменяли его частоту. Теперь нам известно, что на определенной частоте, ну, скажем, на частоте 1000 кГц, наступит резонанс и напряжение на контуре резко возрастет. Но где же граница появления резонанса? Ведь частоту мы меняем плавно и прежде чем установить 1000 кГц должны пройти 900, 990 и даже 999. К тому же частота не обязательно должна выражаться целым числом — наш генератор будет давать переменные напряжения, которые только на тысячные доли герца будут отличаться от резонансной частоты. Так неужели же контур забракует все эти колебания и отзовется только на «полюбившиеся» 1000 кГц? Конечно, нет.

Точный выбор одной только частоты мог бы осуществить идеальный колебательный контур, в котором совершенно нет никаких потерь энергии. В реальном же случае по мере приближения к резонансной частоте напряжение нарастает постепенно и примерно так же медленно убывает, когда мы пройдем эту частоту. Для всякого контура можно нарисовать специальный график — резонансную кривую, которая покажет, насколько резко падает напряжение по мере удаления от резонансной частоты в ту и другую сторону. Форма этой кривой в огромной степени зависит от добротности контура — чем выше добротность, тем острее резонансная кривая, тем резче ослабляет контур переменные напряжения, частота которых близка к резонансной (рис. 27, г).

Общая идея использования колебательного контура для выделения сигнала одной единственной станции примерно ясна. Контур можно включить в цепь антенны, а его индуктивность и емкость подобрать с таким расчетом, чтобы резонанс получался как раз на нужной нам частоте. Это значит, что контур во много раз повысит напряжение принимаемой станции и после детектирования мы услышим ее намного громче других. Когда же мы захотим принять другую станцию, то просто изменим один из параметров контура, например, увеличим или уменьшим его емкость. При этом, как уже отмечалось, изменится частота собственных колебаний, а значит, и частота, на которой в контуре будет резонанс. Меняя емкость

или индуктивность, мы сможем легко перестраиваться с одной станции на другую (рис. 28).

Такова общая идея использования контура для выбора нужной станции, и именно она лежит в основе всех избирательных цепей радиоприемника. Но от общей идеи до практической схемы нужно еще пройти некоторый путь. Важный шаг на этом пути мы с вами сделаем в следующей главе.



ДЛИННЫЕ, СРЕДНИЕ, КОРОТКИЕ И УКВ

Ближайшая наша задача — познакомиться с реальными колебательными контурами, с их устройством, применяемыми деталями, схемами включения, с особенностями работы контуров на различных частотах. Но мы почти ничего еще не говорили о том, какие частоты применяются для радиовещания, как они распределяются между радиостанциями, каковы особенности распространения радиоволн различной длины. С этих вопросов мы и начнем.

Теперь уже ясно, что для эффективного излучения радиоволн нужны токи высокой частоты (стр. 49). Самая низкая из этих высоких частот, применяемых для радиовещания, — 150 кГц. Легко подсчитать, что при такой частоте передатчик излучает радиоволны длиной 2000 м. Самая высокая частота, используемая для радиовещания, — 73 МГц соответствует длине волны 4,11 м. Но не нужно думать, что радиовещательные

станции работают на всех частотах между этими двумя граничными. Им отводятся четыре строго ограниченных частотных участка — диапазоны длинных, средних, коротких и ультракоротких радиоволн (рис. 16, *таблица*). Границы этих диапазонов хоть и не очень точные, с некоторым запасом, вы можете найти на шкале настройки вашего радиоприемника. Нужно заметить, что коротковолновый диапазон не полностью отдан симфоническим оркестрам и спортивным комментаторам. Радиовещательным станциям на коротких волнах предоставлено лишь несколько сравнительно небольших участков, которые находятся в районе волн длиной 25, 31, 42, 49, 75 метров. Эти участки так и называются «Участок 25 метров», «Участок 41 метр» и так далее.

Радиовещательные диапазоны — острова и островки в огромном океане радиоволн. В промежутках между этими диапазонами так же, как и за их пределами, работает огромное количество радиостанций самого различного назначения — телевизионные передатчики, радиолокаторы, межконтинентальные линии радиотелефона и радиотелеграфа, телеметрические линии связи со спутниками, морские, речные, авиационные и космические системы навигации, любительские станции, службы связи скорой помощи, милиции, такси, радиорелейные линии, системы наведения зенитных ракет, «радиопилюли» для исследования желудка, аппаратура телеуправления промышленными объектами. Несколько десятков лет тому назад число радиостанций во всем мире можно было пересчитать по пальцам, и вопрос о том, на какой частоте работать той или иной станции, не имел серьезного значения. Сейчас потребности в свободных радиочастотах настолько велики, что их распределением и учетом занятой специальной международной службой, а проблема «тесноты в эфире» стала одной из главных проблем современной радиотехники.

На первый взгляд может показаться, что никакой проблемы быть не должно, что с появлением какой-нибудь новой станции остальные могут потесниться, сблизить свои частоты и высвободить место в любом участке любого диапазона. В действительности это совсем не так. Каждой станции необходима для работы не одна частота, а целый комплект близких частот или, как принято говорить, полоса частот. Ведь модулированный сигнал — это далеко не синусоидальное колебание и его, так же как мы это делали с другими подобными сигналами, можно представить как сумму синусоидальных составляющих.

И вот оказывается, что спектр модулированного сигнала содержит составляющие с частотами более высокой и более низкой, чем основная, как ее официально называют, несущая частота передатчика (рис. 29). Например, если несущая 200 *кГц* и мы модулируем ее синусоидальным низкочастотным сигналом с частотой 1 *кГц*, то передатчик будет дополнительно из-

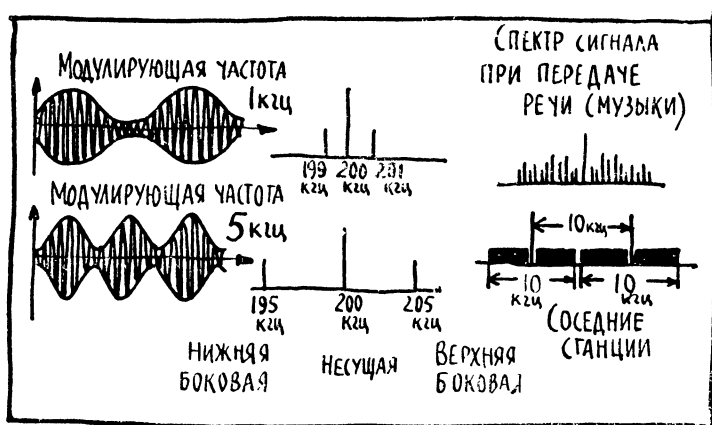


Рис. 29.

лучать радиоволны, соответствующие частотам 199 и 201 кГц. Одна из них называется нижней, а вторая верхней боковой частотой. Если вместо 1 кГц использовать для модуляции 3 кГц, то нижняя боковая окажется равной 197, а верхняя 203 кГц. Одним словом, чем выше модулирующая частота, тем дальше отстоят боковые частоты от несущей.

В реальном случае, при передаче речи или музыки, низкочастотный модулирующий сигнал содержит большое количество синусоидальных составляющих и для того, чтобы в месте приема можно было в точности воспроизвести передаваемый звук, канал связи должен пропустить все его составляющие от 20 гц и вплоть до 20 кГц. В этом случае передатчик займет полосу 40 кГц — верхняя граница будет на 20 кГц выше несущей, а нижняя на 20 кГц ниже. К сожалению, по ряду причин, в том числе из-за тесноты в эфире передавать такой широкий спектр частот оказывается невозможным — приходится идти на жертвы и резко ограничивать его. Так, в частности, для большинства радиостанций самая высокая из передаваемых низких частот — 5 кГц и при этом передатчик излучает полосу частот 10 кГц. Некоторой привилегией пользуются коротковолновые радиовещательные станции: каждой из них отводится полоса 16 кГц и таким образом можно передавать низкие частоты до 8 кГц.

Поскольку каждый передатчик излучает не одну частоту, а целую полосу, то уже не может быть речи о беспредельном сближении несущих частот. Для того, чтобы станции не налезали друг на друга, несущие соседних, то есть ближайших по частоте станций, должны отстоять одна от другой не менее, чем на 10 кГц. По существующему стандарту несущие частоты располагаются на «расстоянии» 10 кГц, причем даже в этом случае во избежание взаимных помех приходится применять

сложную систему распределения частот, систему, которая строго учитывает мощности радиостанций, их радиус действия, район, в котором станция работает, ее расписание и условия распространения радиоволн.

Исходя из условия «10 кгц между несущими», можно подсчитать вместимость каждого радиовещательного диапазона. Так, например, в диапазоне ДВ могут одновременно работать, не мешая друг другу, 27 станций, СВ — больше ста, КВ — около тысячи и на УКВ — несколько тысяч станций. Если бы мы захотели расширить радиовещательный УКВ-диапазон, скажем, сделать его границами волны длиной в 10 м и 10 см, то в этом диапазоне можно было бы разместить около 300 000 обычных радиостанций.

Тут у вас, наверное, появился вопрос: а стоит ли вообще в подобной ситуации возиться с длинными, средними и даже с короткими волнами? Не лучше ли совсем забросить эти старые и тесные квартиры и все радиостанции перевести в просторный диапазон УКВ?

Как видите, с подобным переселением никто не торопится. Дело в том, что каждый из диапазонов имеет свои особенности, свои достоинства и специфические недостатки. Многие из этих особенностей связаны с условиями распространения радиоволн различной длины.

Когда-то мы отметили, что радиоволны, покинув передающую антенну, свободно перемещаются в пространстве и в итоге переносят какую-то часть энергии к антенне радиоприемника. Однако если внимательно проследить за процессом распространения радиоволн, то окажется, что перемещаются они не так-то уж свободно и, во всяком случае, встречают на своем пути множество разных, иногда непреодолимых препятствий.

Прежде всего зафиксируем такой очевидный факт — радиовещательный передатчик находится на Земле. На Земле находится также и подавляющее большинство радиослушателей. Это значит, что радиоволны могли бы проделать свой долгий путь над самой земной поверхностью. И они, конечно, легко проделали бы этот путь, если бы... если бы Земля не имела форму шара.

...Теплый летний вечер где-нибудь на черноморском побережье. Темнеет, в береговых поселках зажигаются огни, появляются огоньки и в море. Вот видно, как вышел из порта огромный залитый электрическим светом лайнер и, подмаргивая красными и зелеными глазками, направился в открытое море. Все дальше уходит от берега яркое световое пятно и вдруг резко исчезает из виду, как будто лайнер нырнул под воду. Все понятно — корабль скрылся за линией горизонта и его свет не доходит до берега. Не доходит потому, что Земля — шар, а световые лучи не искривляют своего пути, не хотят огибать кривизну земной поверхности.

Но всегда ли так прямолинейны световые лучи? Поставьте перед электрической лампочкой какой-нибудь небольшой предмет, скажем, иголку, и вы не обнаружите на стене никакой тени. Свет обошел препятствие, обогнул его. Это явление называется диффракцией. Нетрудно догадаться, что световые волны диффрагируют, огибают препятствие только в том случае, когда оно достаточно мало (в действительности в нашем примере происходят более сложные явления, однако диффракция световых лучей играет в них ведущую роль).

Но что значит маленькое препятствие? В сравнении с чем маленькое? Человек может легко перешагнуть через толстое бревно, а для муравья такое бревно кажется огромной горой. Кто знает, может быть, за штурм подобного препятствия в муравейнике можно получить звание муравья-альпиниста! Одним словом, понятия большой или маленький имеют смысл лишь тогда, когда известно, с чем можно сравнивать.

Когда мы говорим, что волны, в нашем примере световые, огибают небольшие препятствия, то сравниваем размеры этих препятствий с длиной волны. Точных соотношений мы разбирать не можем и ограничимся лишь самым общим замечанием — диффракция наблюдается, когда препятствие соизмеримо с длиной волны. В отношении радиоволн это выглядит примерно так — длинные волны сравнительно хорошо огибают земной шар, радиус кривизны которого около 6000 кило-

ЭЛЕКТРОННАЯ «ЛУПА»

Даже на сравнительно небольшом расстоянии от глаз механизм ручных часов похож на обычный полтинник — мелкие детали почти не видны и сложная машина кажется сплошным серебряным кружком. Но вот часовщик одевает на глаз лупу — нехитрый прибор с увеличительным стеклышком — и ему уже заметны не только маленькие шестеренки, не только отдельные их зубцы, но даже царапины и зазубрины на каждом зубце.

Можно довольно просто ввести в приемник «электронную лампу», которая позволит внимательно рассматривать самые небольшие участки коротковолнового диапазона, а точнее, позволит вести на этих участках плавную настройку. В отличие от обычной растянутой настройки электронная лупа не связана с каким-нибудь

определенным участком, она обслуживает весь диапазон. С помощью ручки основной настройки выбираете нужный участок, а затем уже внимательно просматриваете его, «вооружившись лупой».

Для того чтобы сделать такую «лупу», можно закрепить на шасси воздушный подстроечный конденсатор небольшой емкости (20—30 пф), ось его вывести наружу (например, на боковую стенку) и снабдить ручкой. Конденсатор подключается к части катушки гетеродинного контура (рис. 31, в) или ко всей катушке, но уже через сопротивление 5—50 ком. Подбирая это сопротивление, легко установить нужную степень «растяжки».

Вместо конденсатора в «электронной лупе» можно использовать любую катушку, которая содержит 50—100 витков и имеет подвижный сердечник (рис. 31, г).

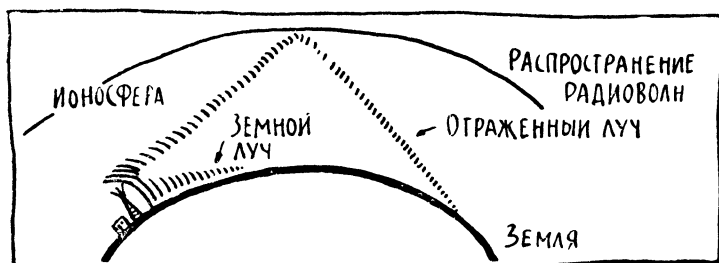


Рис. 30.

метров. Практически длинные волны при достаточной мощности передатчика могут легко пройти с одного конца Земли на другой. Еще каких-нибудь 40—50 лет тому назад линии радиосвязи между континентами работали только на длинных и сверхдлинных волнах.

Для средних волн Земля представляет уже значительно большее препятствие. Они обычно на несколько десятков, реже — на несколько сот километров уходят за линию горизонта. Что же касается коротких и особенно ультракоротких волн, то на этих диапазонах наблюдается совсем незначительное огибание нашего «шарика». Кажется, уже настал момент сделать вывод — радиопередачу на большие расстояния можно осуществить только на длинных волнах. Однако не будем торопиться. До сих пор мы вели разговор только о Земле. Теперь поговорим о Солнце.

Солнечные лучи, попав на Землю, выполняют здесь гигантскую работу. Нефть, уголь, сложные химические соединения, расплавленные льды, грозовые тучи, наконец, сама жизнь, бесчисленные виды растений, насекомых, животных — во всем этом доля солнечного труда огромна. Нужно сказать, что, активно участвуя в самых разнообразных процессах, Солнце пользуется сравнительно небольшим арсеналом методов воздействия на вещество. Один из таких методов — ионизация.

Различные виды солнечного излучения, врываясь в атомы и молекулы, выбивают из них электроны, а в результате появляются пары электрических зарядов: электрон — положительный ион. Ионизированные газы и жидкости — это проводники тока, так как электрические заряды в них не связаны и могут перемещаться в пространстве. Ионизируя сильно разреженные газы на большой высоте от Земли, солнечные излучения создают так называемую ионосферу — несколько слоев, несколько расположенных на высоте 50—200 км невидимых сферических оболочек со сравнительно большой плотностью свободных зарядов — тысячи и даже миллионы на кубический сантиметр. Эти ионизированные слои довольно хорошо отражают радиоволны, подобно тому, как зеркало отражает свет.

Радиоволны, излучаемые передатчиком, распространяются не только над поверхностью Земли. Значительная их часть уходит вверх, «в небо», и, отразившись от ионосферы, вновь возвращается на Землю (рис. 30). Иногда происходит даже несколько отражений, и радиоволна проходит зигзагообразный путь между Землей и ионосферой. Отраженный радиолуч может покрывать огромные расстояния, например, легко добираться с Северного полюса на Южный и даже, обогнув Землю, вновь возвратиться к месту передачи. Самое интересное, что отраженный луч на своем пути почти не теряет энергии, так как мало соприкасается с Землей. Это позволяет устанавливать дальнюю связь с помощью передатчиков очень небольшой мощности.

По-разному относится Земля к радиоволнам различной длины, по-разному относится к ним и ионосфера. Так, слой, от которого отражаются средние волны, «работает» только в ночное время, когда солнечная активность резко снижается. Поэтому и дальние станции на средневолновом диапазоне слышны только с наступлением темноты. Коротковолновый участок коротковолнового диапазона, наоборот, в основном прослушивается в дневное и утреннее время, а волны длиннее 30—40 м лучше слышны ночью и вечером. Кроме того, состояние ионосферы, а значит и ее отражающие способности, сильно зависят и от времени года. Зимой улучшается прохождение средних волн, летом — самых коротких — 10—30 м. Но и это еще не все — на состояние ионосферы, а значит и на условия распространения радиоволн влияет любое изменение солнечной активности, в том числе и одиннадцатилетние циклы. Так, в частности, несколько лет тому назад наблюдалось сильное отражение от ионосферы даже ультракоротких волн, хотя обычно они «протыкают» ионизированные слои насквозь и на Землю не возвращаются. Одним словом ионосфера — не какая-то застывшая масса. Высота ее слоев, их плотность, отражающие способности для разных длин волн сложным образом меняются и при этом, естественно, меняются и условия дальнего распространения радиоволн.

Практический вывод отсюда можно сделать очень простой — не нужно требовать от приемника большего, чем он может дать. Даже самый отличный приемник ничего не «поймает» в том участке диапазона, где в длинный момент нет прохождения, где из-за плохих условий распространения радиоволны вообще не уходят далеко от передающей станции. Но, конечно, не нужно сетовать на то, что в эфире «ну совсем нет станций!» Часто этим оправдывают «лодыря» — приемник, который просто-напросто обладает слабой чувствительностью, то есть недостаточно усиливает слабые радиосигналы.

Помимо настоящих радиостанций — телевизионных, радиовещательных, связных — на всех диапазонах работает еще

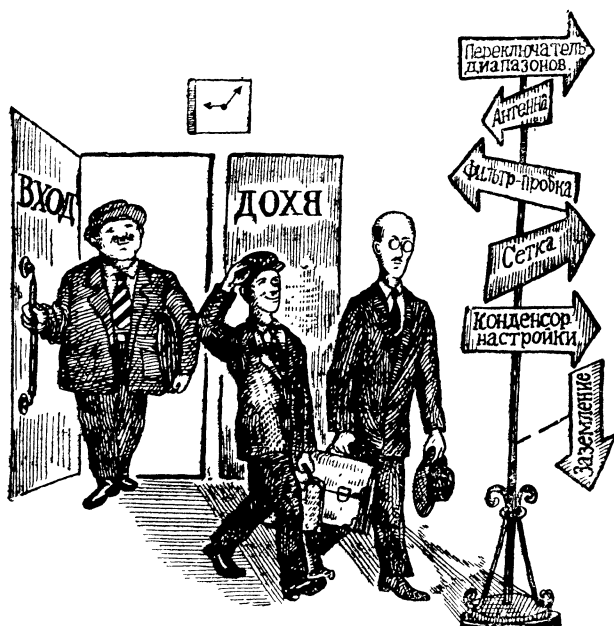
бессчетное количество передатчиков, которых никто специально не строил и которые совсем никому не пужны. Вот черное грозовое небо прошла длинная игла молнии, и от нее, как от огромной антенны, по которой проскочил импульс тока, во все стороны расходятся радиоволны с очень широким спектром частот. Искрит коллекторный двигатель — и опять излучение радиоволн. Заработал сварочный или рентгеновский аппарат — и снова в эфире появляются тысячи незваных гостей, тысячи электромагнитных колебаний, расползающихся по всем диапазонам от сверхдлинных до ультракоротких волн. Они проникают в радиоприемник вместе с сигналом принимаемой станции и создают сильные помехи, которые чаще всего прослушиваются в виде тресков или сплошного шума.

Больше всего помех оказывается на длинных волнах, меньше — на средних, еще меньше — на коротких и совсем мало на УКВ. К сожалению, избавиться от помех не так-то просто, а иногда и совсем невозможно. Отдельные их составляющие имеют ту же частоту, что и сам полезный сигнал, и колебательный контур, который различает сигналы только по их частоте, просто не в состоянии «узнать», какой из двух резонансных токов принадлежит нужной радиостанции, а какой — вредной помехе.

Атмосферные помехи — неизбежное зло, а вот с промышленными ведется активная борьба. Существует ряд эффективных мер, в частности, экранирование и применение специальных фильтров, позволяющих «задавить» на месте источник помехи, «замуровать» его, не позволить ему излучать радиоволны. Пример эффективного подавления помех можно найти в автомобиле. Несмотря на большое количество искрящих устройств, расположенных совсем рядом — к их числу относятся генератор, реле, свечи, стартер, прерыватель и распределитель системы зажигания — автомобильный приемник практически огражден от помех «местного производства».

Обнаружением и подавлением радиопомех промышленного происхождения занимается специальная служба Министерства связи, представители которой имеются во многих городах.

Однако пора возвращаться к нашей главной теме, к колебательному контуру.



ЗНАКОМАЯ ТАБЛИЧКА «ВХОД»

Благодаря резонансу контур может выбрать из общего числа радиостанций одну, нужную нам. Для этого, как уже было отмечено, необходимо подобрать индуктивность и емкость с таким расчетом, чтобы получить резонанс на нужной частоте. Захотите послушать другую станцию — измените емкость конденсатора или индуктивность катушки, сместите резонансную частоту. Одним словом, для плавной перестройки с одной станции на другую в контуре нужно иметь конденсатор переменной емкости или катушку переменной индуктивности. В реальном приемнике есть и то и другое. Плавным изменением емкости осуществляется настройка в пределах диапазона, а при переходе с одного диапазона на другой происходит резкое изменение индуктивности — включение в контур различных катушек.

Конденсатор настройки состоит из двух групп пластин: неподвижных — статорных и подвижных — роторных.

При повороте ротора его пластины все больше углубля-

ются в статор, реальная, «работающая» площадь пластин увеличивается и вместе с этим возрастает емкость конденсатора. В распространенных типах конденсаторов емкость изменяется от 10—20 пф (ротор полностью выведен) до 450—520 пф (ротор полностью введен). При этом удается полностью перекрыть один из радиовещательных диапазонов ДВ, СВ или КВ. Что же касается диапазона УКВ, то здесь используется особый агрегат настройки.

Чтобы окончить разговор о плавном изменении резонансной частоты контура, еще несколько слов о растянутой настройке (рис. 31). Когда-то мы с вами хвалили коротковолновый диапазон — в нем можно разместить намного больше станций, чем на длинных и средних волнах. Однако у этой медали есть и обратная сторона — в огромном океане КВ-диапазона не только трудно найти нужную станцию, но и не совсем просто настроиться на нее. Вместо пояснений — несколько цифр.

Плавная настройка на всех диапазонах осуществляется одним и тем же конденсатором, и ротор этого конденсатора при изменении емкости от минимальной до максимальной поворачивается на 180 градусов. Это значит, что на длинных волнах изменению частоты на 10 кГц, то есть перестройке с одной станции на другую, соответствует в среднем поворот ротора на 6 градусов. На средних волнах эта цифра уменьшается до 1 градуса, а на коротких — почти до нескольких угловых минут. Сами понимаете, что повернуть ротор рукой на такой небольшой угол довольно трудно, и поэтому точная настройка на коротковолновую станцию обычно требует терпения.

Значительное облегчение дают механические верньеры — системы из шкивов и тросиков (а иногда из шестерен), замедляющие вращение ротора конденсатора по сравнению с вращением ручки настройки. Часто применяют разбивку коротковолнового диапазона на две примерно равные части. В каждой из них полному повороту ротора соответствует вдвое меньшее число станций, чем на одном «полном» диапазоне. Нако-

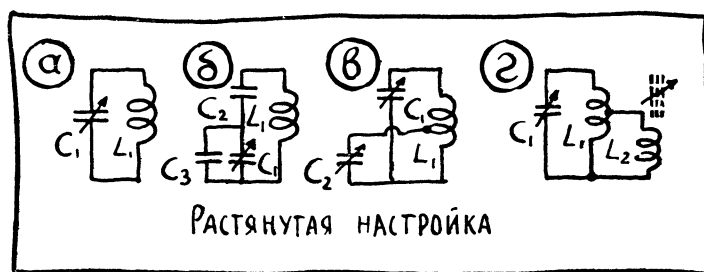


Рис. 31.

нец, в некоторых, как правило, высококачественных приемниках, помимо обзорного (общего) коротковолнового диапазона имеется еще несколько так называемых растянутых. Это те самые участки («25 метров», «31 метр» и др.), которые отведены радиовещательным станциям. Каждый из них растянут на всю шкалу. Это значит, что если вы хотите пройти один такой участок, нужно повернуть ротор на все 180 градусов. При этом «плотность населения», то есть число станций, которое приходится на весь поворот ротора, оказывается примерно такой же, как и в диапазоне длинных волн.

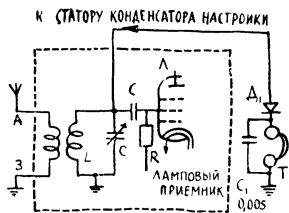
Среди нескольких способов растянутой настройки наиболее широко используется включение для каждого поддиапазона отдельной катушки и уменьшение так называемого перекрытия по частоте. Полному повороту ротора на ДВ, СВ и обзорном КВ-диапазонах должно соответствовать изменение частоты примерно в 3 раза. При разделении коротковолнового диапазона на две части в каждой из них частота меняется примерно в 1,5 раза. На растянутых же участках при полном повороте ротора частота должна меняться всего на несколько процентов.

Для того чтобы уменьшить перекрытие по частоте, нужно сделать изменение емкости контура не столь резким. С этой целью параллельно конденсатору настройки и последовательно с ним включают конденсатор постоянной емкости (рис. 31, б). Известно, что при соединении конденсаторов каж-

ПРИЕМНИК РОБИНЗОНА

Если бы Даниель Дефо писал историю Робинзона сегодня, то, по-видимому, он обогатил бы жизнь отшельника многими новыми деталями и уж во всяком случае снабдил бы его радиоприемником. Но представьте себе, что Робинзон вывез на берег судовой радиоприемник, а источников питания захватить не успел. Как и следовало ожидать, они затонули вместе с кораблем. Здесь автор, по-видимому, предоставил бы своему герою возможность еще раз проявить изобретательность, а мы с вами могли бы подготовить подходящую иллюстрацию к этому рассказу, нарисовав схему радиоприемника Робинзона Крузо. Изобретательный моряк присоединил детектор и телефон ко входной цепи лампового супергетеродина, и в результате получится детекторный приемник с плавной

настройкой, который за счет контуров входной цепи обладает некоторой избирательностью. Такой приемник с хорошей антенной и заземлением обычно принимает не-



сколько станций и, естественно, не требует никакого питания. Вы сами можете собрать подобную схему на базе любого радиовещательного приемника. Может быть, вам даже будет приятно на время почувствовать себя современным Робинзоном и, прижав к уху головной телефон, вслушиваться в слабые сигналы далеких станций.

дый из них определяет величину общей емкости. Поэтому с появлением «постоянного конкурента» конденсатор настройки уже не будет так сильно влиять на резонансную частоту контура. И хотя емкость этого конденсатора при повороте ротора меняется, как и прежде, резонансная частота относится к этому спокойнее, изменяясь в меньших пределах.

Переходим к катушкам.

На коротких волнах, где резонансная частота контура довольно высока, нужны контурные катушки небольшой индуктивности, обычно около $1\text{--}2\text{ мкгн}$. Такие катушки намотаны на круглом или ребристом каркасе и содержат всего несколько витков сравнительно толстого (диаметр $0,6\text{--}0,8\text{ мм}$) медного провода (рис. 24, а). Катушки СВ и ДВ-диапазона содержат десятки, а иногда и сотни витков тонкого ($0,1\text{--}0,15\text{ мм}$) провода. Для улучшения добротности всю катушку часто разбивают на несколько секций, которые располагаются одна возле другой (рис. 24, в).

В процессе настройки и налаживания приемника на заводе возникает необходимость в некоторых пределах изменять индуктивность катушек хотя бы потому, что изготовить две одинаковые катушки невозможно. Подстройка осуществляется с помощью сердечников, которые ввинчиваются в каркас и таким образом постепенно вводятся в магнитное поле.

Уже было отмечено (стр. 74), что стальной сердечник, намагничиваясь, усиливает магнитное поле самой катушки и таким образом увеличивает ее индуктивность. Что же касается материала, из которого изготовлены сердечники контурных катушек, то о нем можно будет рассказать, как только мы познакомимся с трансформатором (рис. 24, г).

Нам уже известно явление самоиндукции — меняется ток в катушке, меняется ее магнитное поле, и в результате этих изменений, еще раз подчеркнем — только в результате изменений, на самой катушке наводится э. д. с. самоиндукции. Теперь давайте расположим рядом вторую катушку так, чтобы изменяющееся магнитное поле охватывало и ее витки. Совершенно ясно, что и на этой, никуда не подключенной катушке изменяющееся магнитное поле также наведет электродвижущую силу. Она получила название э. д. с. взаимной индукции. Подобное устройство, в котором электрическая энергия передается из одной катушки в другую без непосредственного их соединения, а только за счет связывающего обе катушки переменного магнитного поля, называется трансформатором. Нам еще предстоит несколько встреч с трансформатором, и в самое ближайшее время мы познакомимся с ним более подробно.

Та обмотка — так обычно называют катушки трансформатора, — в которой мы сами создаем переменный ток, то есть обмотка, к которой подключен генератор, получила название первичной. Обмотка, в которую передается энергия и где на-

водится электродвижущая сила взаимной индукции, называется вторичной.

Вставленный внутрь контурной катушки стальной сердечник — это своего рода вторичная обмотка трансформатора. На самом сердечнике наводится э. д. с., в нем появляется вихревой ток, он отбирает у контурной катушки какую-то мощность, а значит создает в контуре дополнительные потери. Терять энергию всегда жалко, но для контура потери неприятны вдвойне. Из-за них снижается добротность, уменьшается резонансное напряжение, ухудшается избирательность. Одним словом, использовать стальной сердечник для подстройки колебательного контура нельзя.

Между прочим, аналогичная проблема возникает не только в высокочастотной аппаратуре. При сравнительно медленном изменении тока, даже при промышленной частоте 50 гц, вихревые токи, наводимые в стальном сердечнике, слишком велики и отбирают много энергии. Если вы посмотрите на сердечник трансформатора, на ротор электродвигателя или на любую другую стальную деталь, которая «по роду своей работы» находится в переменном магнитном поле, то заметите, что все эти детали сделаны не из одного массивного куска стали, а собраны из тонких стальных пластин. Такая пластинчатая конструкция — верное средство уменьшения вихревых токов. Токи наводятся в каждой пластинке и, что самое интересное, каждый из них мешает соседу — своим магнитным полем резко уменьшает соседний ток. В итоге общая энергия, отбираемая сердечником, оказывается сравнительно небольшой.

Если сердечник предназначен для катушки, где протекает ток высокой частоты, в частности, для контурной катушки, то разделение на пластины уже оказывается недостаточным. Приходится сталь или другой подобный материал измельчать в порошок, покрывать каждую его крупинку изолирующим лаком, а затем из этой пыли прессовать сердечник необходимой формы. Такой сердечник усиливает магнитное поле, то есть увеличивает индуктивность, заметно хуже, чем стальной, но зато не вносит дополнительных потерь и значит не снижает добротности контура. Более того, при использовании сердечника добротность даже повышается. Если бы катушка не имела сердечника, то пришлось бы намотать большее число витков и сопротивление такой катушки было бы больше.

Прессованные материалы, из которых делают сердечники для катушек, называют магнитодиэлектриками. Первая часть названия говорит о том, что материал обладает магнитными свойствами и подобно стали усиливает магнитное поле. Вторая часть поясняет, что материал не проводит электрического тока, обладает электрическими свойствами изолятора. Происходит это потому, что отдельные крупинки металла тщательно изолированы друг от друга. Из магнитодиэлектриков в послед-

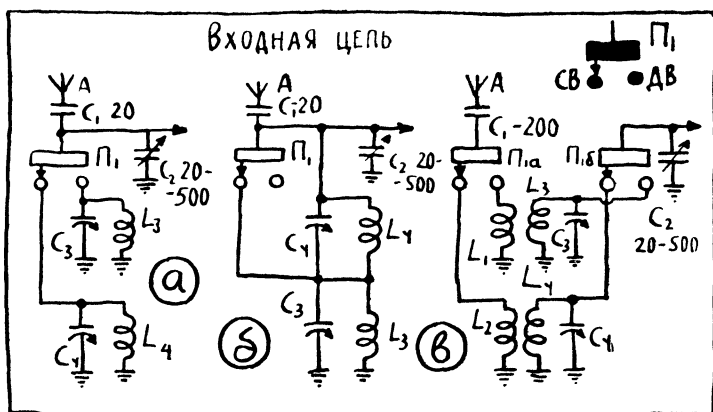


Рис. 32.

нее время наиболее широко применяются ферриты — черные и темно-серые материалы с крупинчатой структурой.

Для средневолновых и длинноволновых катушек иногда используют горшкообразные (броневые) сердечники, внутри которых располагается сама катушка (рис. 24, б). При этом сердечник охватывает практически все магнитное поле катушки и во много раз повышает ее индуктивность. Дальним родственником броневого сердечника является ферритовое кольцо, надеваемое на катушку (рис. 24, в).

Теперь мы готовы к тому, чтобы разобрать практическую схему включения колебательного контура. В хорошем и даже в не очень хорошем приемнике всегда имеется несколько контуров, но один из них, как правило, включен во входную, то есть в антенную цепь. Этот контур так и называется входным или, иначе, преселектором. В переводе на русский язык это примерно означает «предварительный избиратель». Преселектор действительно встречает весь поток сигналов, попадающих в антенну, и, как может, ослабляет действие мешающих станций, осуществляя их предварительный отсев.

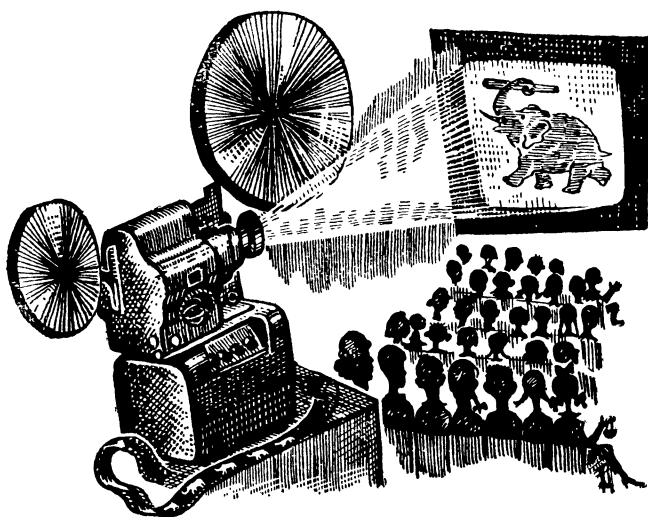
Одна из возможных схем входной цепи двухдиапазонного приемника показана на рис. 32, а. Через конденсатор C_1 осуществляется связь антенны с контуром — это так называемая схема емкостной связи. В зависимости от диапазона к конденсатору настройки C_2 подключается одна из катушек L_3 (ДВ) или L_4 (СВ). Несколько иная схема коммутации (переключения) показана на рисунке 32, б. Схема построена исходя из того, что общая индуктивность двух катушек, так же как и двух сопротивлений, равна их сумме. На длинных волнах в контур входят две соединенные последовательно катушки, в сумме дающие необходимую индуктивность, а на средних вол-

нах катушка L_4 замыкается накоротко и в контуре остается только L_3 , рассчитанная на средневолновый диапазон.

Наиболее широко распространена схема входной цепи с индуктивной или трансформаторной связью (рис. 32, в). Здесь в цепи антенны также имеется конденсатор C_1 , но выполняет он уже совсем другую роль — предохраняет катушки от случайного попадания высокого напряжения, например, из-за замыкания антенны с каким-нибудь сетевым проводом. Сам контур непосредственно с антенной не связан — высокочастотный ток в нем наводится через своеобразный трансформатор, первичной обмоткой которого являются катушки L_1 и L_2 . Эти катушки всегда расположены на одном каркасе с контурными L_3 и L_4 , и переключаются они отдельной секцией переключателя диапазонов. Катушки связи (L_1 , L_2) всегда можно отличить по внешнему виду — они имеют значительно большую индуктивность, а значит и большее число витков по сравнению с соответствующей контурной катушкой. Подстроечные конденсаторы C_3 и C_4 , подключенные параллельно к катушкам, вместе с ними включаются и в контур. Так же как и сердечники катушек, они помогают точно установить граничные частоты контура.

Несколько слов о переключателе. Коммутация высокочастотных цепей дело довольно тонкое, и здесь применяются специальные переключатели с небольшими посеребренными контактами. Раньше были распространены галетные переключатели, а теперь клавишные. Как правило, переключатели диапазонов всегда имеют много групп, то есть одновременно происходит замыкание большого числа контактов. Различные контактные группы одного и того же переключателя обозначают буквами-индексами. Так, на схеме 32, в видны две контактные группы одного переключателя Π_1 . Группа Π_{1a} переключает катушки связи, а группа Π_{1b} соответствующие контурные катушки. Совершенно ясно, что в трехдиапазонном приемнике во всех секциях переключателя должно быть по три неподвижных контакта — третий для коротковолновых катушек.

На всех схемах вы видите линию со стрелкой, которая недвусмысленно говорит о том, что со входного контура высокочастотное напряжение передается куда-то дальше. Но куда? Можно, конечно, построить очень простой приемник, где сигнал с контура пойдет прямо на детектор (стр. 96). Такие детекторные приемники обычно строят школьники, начиная практические занятия по радиотехнике. Что же касается настоящего приемника, с которым мы хотим познакомиться, то здесь на пути от входной цепи до детектора встретится еще много важных и сложных узлов, много интересных преобразований сигнала и среди них в первую очередь усиление.



СЛОНЕНОК СТАНОВИТСЯ СЛОНОМ

Прежде чем говорить об усилении слабых сигналов в приемнике, несколько слов о самом слове усиление. Различные производные от него — усиленный, усилитель, усилительный — широко применяются в радиоэлектронике. Эти слова всегда правильно отражают результат ряда физических процессов, но почти никогда не раскрывают их сущность. Непонятно? Попробуем пояснить.

В последнее время ваша любимая футбольная команда «Шайба» вписывает в свою турнирную таблицу один ноль за другим. Ее нападающие никак не могут прорваться к штрафной площадке противника, вратарь, словно нарочно, бросается в сторону от летящего мяча, ну а защитники... Одним словом, команда стала играть слабо, и болельщиков мучает одна мысль, как укрепить команду, как улучшить игру.

Из всех высказанных по этому поводу предложений остановимся на двух. Первое — ввести регулярные круглогодичные тренировки и занятия по тактике футбола, повысить физическую подготовку игроков. Результат — усиление команды.

Второе предложение — тренера сменить, команду расформировать, или, проще говоря, разогнать, пригласить новых, более сильных игроков. Результат — усиление команды. Правда,

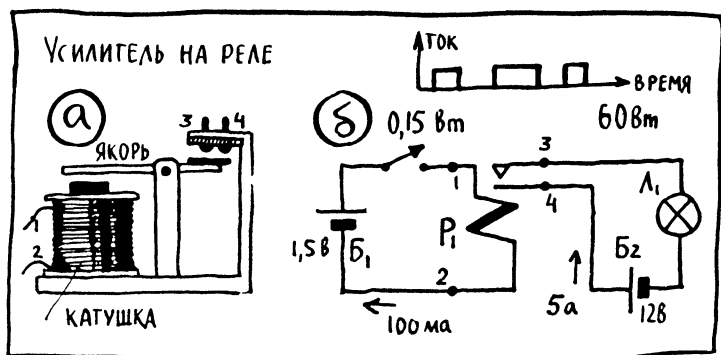


Рис. 33.

во втором случае фактически произойдет не усиление, а простая замена. Но это уже «физическая сущность», которая в данном случае болельщиков не интересует. На этот раз важен только результат — ваша команда с обычным количеством игроков (11 человек) в обычной форме (полосатые майки, фиолетовые трусы) и занимающая в турнирной таблице свое обычное место (последнее) вдруг стала играть сильнее. Разве это не усиление команды?

Примерно в том же смысле применяется слово усиление и в радиоэлектронике. Если у нас был слабый электрический сигнал, а затем по его образу был создан более мощный, то мы говорим: произошло усиление сигнала, хотя правильной было бы говорить о замене. Самым сложным здесь так же, как и в футболе, является процесс создания «мощной копии» усиливаемого сигнала. Именно с этим процессом мы сейчас познакомимся.

Начнем с наиболее простого случая — с усиления телеграфных сигналов. Для этой цели можно использовать такое сравнительно простое устройство, как электромагнитное реле (рис. 33, а). Его основой является электромагнит — катушка со стальным сердечником. Если по катушке проходит ток, сердечник сильно намагничивается и притягивает к себе подвижную пластинку — якорь, также сделанную из стали. Когда же ток прекратится, магнитное поле исчезнет, и якорь под действием пружины вернется в исходное положение. Переходя из одного крайнего положения в другое («притянут — отпущен»), якорь, подобно обычному выключателю, замыкает либо размыкает контакты (3, 4), расположенные на специальной изоляционной пластинке.

Распространенные типы простых реле срабатывают при токе в несколько миллиампер и напряжении около одного вольт, то есть при мощности сигнала во много раз меньше

ватта. В то же время контакты реле обычно могут осуществлять переключение в цепях с довольно большим током (несколько ампер) и напряжением (несколько десятков вольт). Предельные величины в данном случае лимитируются в основном одним соображением — контакты не должны подгорать.

Схема, иллюстрирующая усиление телеграфных сигналов с помощью реле, может быть предельно простой (рис. 33, б). Последовательно с катушкой электромагнита включим телеграфный ключ и обычную батарейку, а контакты реле введем в цепь, состоящую из автомобильного аккумулятора и лампочки мощностью в несколько десятков ватт. Вот и все. Теперь попробуйте нажимать на ключ в соответствии с азбукой Морзе. При этом во входной цепи нашего усилителя, то есть в цепи катушки реле, появится тот сигнал, который нужно усилить, — возникнут слабые импульсы (толчки) тока, по длительности соответствующие точкам и тире. Под действием этих импульсов будет притягиваться якорь реле, будут замыкаться его контакты, и появятся точки и тире в виде сильных импульсов тока в выходной цепи, то есть в цепи аккумулятора. Эти сильные импульсы не что иное, как нужная нам «мощная копия» слабого телеграфного сигнала.

Итак, простейшая задача усиления решена. Что же потребовалось нам для этого? Во-первых, нужно было иметь сам сигнал — его мы получили с помощью батарейки и телеграфного ключа. Нельзя было обойтись и без источника энергии для создания «мощной копии», то есть без автомобильного аккумулятора. А для того, чтобы этот источник давал энергию не в виде постоянного тока, как обычно, а в виде нужных нам точек и тире, понадобилось еще одно, так называемое управляющее устройство — в нашем случае реле. Именно оно замыкало и размыкало цепь аккумулятора, заставляя его копировать точки и тире входного сигнала.

Следует упомянуть еще об одном элементе рассмотренной схемы — о лампочке в выходной цепи. В данном случае лампочка — это та нагрузка, где «работает» наша «мощная копия». Конечно, такая нагрузка взята лишь для простоты, хотя усилительная система, с которой мы познакомились, может найти и практическое применение, например, для передачи световых сигналов с корабля на берег. Наша схема могла бы работать и с другой нагрузкой, например, с какой-нибудь специальной электрической ручкой, которая записывала бы точки и тире на движущейся бумажной ленте.

Подведем итог. Для усиления слабых электрических сигналов необходимо иметь достаточно мощный источник энергии, управляющий элемент и, конечно, усиливаемый сигнал. Кроме того, если мы хотим использовать полученную «мощную копию», то есть усиленный сигнал, необходима нагрузка. Все эти элементы обязательно имеются в любых усилителях,

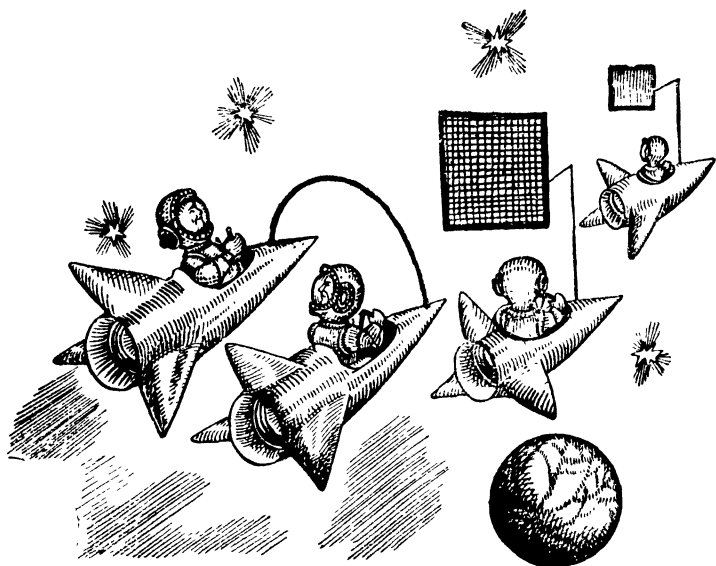
в том числе и во всех усилителях приемника. Но здесь, конечно, электромагнитное реле в качестве управляющего устройства работать не может. Мы не будем разбирать всех причин этого. Достаточно одной.

В радиовещательном приемнике до детектора действует модулированное переменное напряжение высокой частоты, после детектора — переменное напряжение низкой частоты, но в обоих случаях это непрерывно изменяющиеся сигналы, которые могут иметь множество самых различных значений. Прежде всего этим они и отличаются от телеграфных сигналов, которые изменяются скачкообразно и могут иметь лишь два значения — нулевое и максимальное. С усилением телеграфных сигналов реле справляется прекрасно, здесь вполне хватает его «квалификации» — умения включать и выключать.

Ну, а что будет, если пропустить через обмотку реле низкочастотный ток сложной формы, например ток, протекающий в микрофонной цепи во время телефонного разговора? В некоторые моменты времени, при достаточно сильном токе реле будет срабатывать, а на все остальные изменения тока реагировать вообще не будет. Подключив к контактам такого реле источник тока и нагрузку, мы получим в ее цепи лишь беспорядочные прямоугольные импульсы различной длительности, которые в телефоне будут создавать неприятные щелчки. Это уже не точная копия, а какой-то абстрактный портрет нашего сложного усиливаемого сигнала.

Иногда, когда хотят в шутливой форме описать работу усилителя, говорят, что он действительно делает из мухи слона. Что касается чистой энергетики, то это удачное сравнение — реальный усилитель может в сотни и тысячи раз повысить мощность сигнала. Что же касается формы, то есть характера изменения сигнала, то здесь приведенная поговорка указывает на то, чего ни в коем случае не должно быть. В процессе усиления необходимо в точности сохранить форму сигнала, иначе вместо играющей в студии скрипки мы услышим тромбон. Образно говоря, большой слон должен получиться не из мухи, а из маленького слоненка — копия должна быть похожей на оригинал.

Для усиления плавно изменяющихся сигналов, что для этого прежде всего нужно найти устройство, которое позволило бы плавно и с достаточной быстротой управлять электрическим током, подобно тому, как легко и плавно нажимая на педали, мы управляем работой мощного автомобильного двигателя или железной рукой гигантского подъемного крана.



ДЕЙСТВИЕ ПЕРЕНОСИТСЯ В КОСМОС

Очень часто электрический ток сравнивают с потоком воды, а элементы электрической цепи — с различными гидравлическими приборами: батарею с насосом, нагрузку с турбиной, проводники — с трубами. Продолжая это сравнение, попробуем представить себе управляющий прибор для плавного изменения тока. Такой прибор необходим нам в практике для усиления слабых электрических сигналов — переменных напряжений высокой и низкой частоты.

Что касается потока воды, то для него подобным управляющим прибором является обычный водопроводный кран. Действительно, поворачивая кран, мы перемещаем своеобразную заслонку на пути воды и плавно изменяем мощность потока. Ну, а как создать подобную заслонку для электрического тока? Как ввести ее в проводник? И как перемещать с помощью слабых электрических сигналов? Все эти, казалось бы неразрешимые, задачи довольно просто решаются в электронной лампе.

Ни один уважающий себя кот не полезет за мышкой в ее норку — он будет терпеливо ждать, когда мышь выйдет про-

гуляться на свежем воздухе. Здесь когу достаточно будет только протянуть лапу — и мышки нет. Учитывая этот убедительный пример, мы тоже не будем стараться проникнуть внутрь проводника для того, чтобы управлять движением зарядов. Выведем эти заряды из проводника «на воздух» и здесь попытаемся поставить на их пути электрическую заслонку*.

Правда, воздух очень неудачная среда для движения зарядов, ведь он только кажется прозрачным и «пустым». Попробуйте чуть-чуть высунуть руку из движущегося автомобиля, как вы сразу же почувствуете плотность воздуха, его сопротивление — результат столкновения руки с миллиардами молекул различных газов — кислорода, водорода, азота и др.

И вот здесь-то можно вспомнить о космосе, о том, как огромные спутники и корабли двигаются там, не встречая почти никакого сопротивления — в космосе плотность вещества ничтожно мала. Подобные «космические» условия можно создать и в стеклянном баллоне, если с помощью мощных насосов тщательно откачать из него воздух. В таком безвоздушном пространстве, или, как говорят иначе, в вакууме, электрические заряды смогут двигаться практически без столкновений.

Стеклянный, металлический или керамический баллон, в котором создан вакуум, — это основная деталь самых различных приборов для управления движущимися зарядами. Именно поэтому все эти приборы — телевизионные трубки, электронные микроскопы, усилительные лампы — часто называют вакуумными. Попутно заметим, что из обычной электрической лампочки тоже откачивают воздух, но при этом преследуют

* Вы, конечно, знаете, что сейчас научились управлять гоком в твердом теле. Такое управление осуществляется в полупроводниковых триодах, или, как их еще называют, транзисторах.

РАДИОПРИЕМНИК ЗАПОЛНЯЕТ АНКЕТУ

Вот несколько вопросов, с которыми покупатель обычно приходит в радиомагазин: «Какой приемник самый хороший? А чем плохи остальные? И какой же все-таки покупать?..»

О радиоприемнике довольно четко рассказывают его главные характеристики — параметры. Вот некоторые из них.

— Диапазоны принимаемых волн.

— Коэффициент нелинейных искажений (в процентах).

— Полоса воспроизводимых частот (в герцах).

— Номинальная выходная мощность (в ваттах), при которой искажения не превышают нормы.

— Чувствительность, которая характеризует способность приемника усиливать слабые сигналы. Обычно указывается напряжение (в микровольтах) на входе приемника, при котором выходная мощность составляет не меньше 10% от номинальной. Чем меньше это напряжение, тем, естественно, лучше чувствительность. Так, например, при чувствительности 50 мкв можно принимать более

совсем другие цели. В состав воздуха входит кислород, из-за которого раскаленная нить может просто-напросто сгореть.

Итак, вакуумный баллон для усилительной электронной лампы у нас уже есть. Теперь остаются сущие «пустяки» — нужно создать в баллоне электрический ток и вставить «запонку» для управления этим током.

Не нарушая герметичности баллона, введем в него с разных сторон два электрода (электродами называют расположенные внутри баллона металлические детали, выполняющие какие-то определенные функции по созданию тока и управлению им), а к их выводам, то есть к той части электродов, которая сквозь стекло выходит из баллона, подключим обычную батарейку. Давайте сразу же договоримся: тот электрод, к которому подключен «плюс» батареи, называется *анодом*, а тот, к которому подключен «минус», — *катодом*. Батарею, включенную между анодом и катодом, принято называть *анодной*, хотя с таким же успехом ее можно было бы назвать *катодной* или, еще точнее, *анодно-катодной*. В нашем простом примере анод и катод — это совершенно одинаковые металлические пластинки — их даже можно поменять местами. В настоящей лампе анод и катод устроены совершенно по-разному.

После подключения к электродам анодной батареи в баллоне появится ток. Электроны будут вылетать из катода и двигаться к аноду — отрицательно заряженный электрон стремится к «плюсу». В то же время, если на аноде каким-то образом появятся свободные положительные заряды, то они будут двигаться к «минусу», то есть к катоду.

В большинстве электровакуумных приборов, так же, как и в металлических проводниках, ток создают свободные электроны. Только они могут покинуть свои атомы и отправиться в «космический» полет от катода к аноду. Именно эти неуго-

слабые станции, чем при 200 мкв. — Избирательность по соседнему каналу (обычно в децибелах) величина, показывающая, во сколько раз ослабляется соседняя станция по сравнению с принимаемой («расстояние» по частоте — 10 кГц).

— Избирательность по зеркальному каналу («расстояние» по частоте — 930 МГц).

Имеется и целый ряд других параметров, характеризующих уровень фона, эффективность системы АРУ, стабильность частоты гетеродина, потребляемую мощность, степень регулировки тембра

и полосы пропускания, уровень собственных шумов и др. Но одна только анкета, пусть даже самая подробная, не может полностью охарактеризовать приемник. Ведь имеются еще и такие важные показатели, как внешний вид, отделка, тембр звучания, удобство управления, надежность... Вот почему даже детально познакомившись с основными параметрами приемника, вы можете без стеснения задавать продавцам, а еще лучше мастерам-ремонтникам, традиционный вопрос: «Так какой же приемник все-таки стоит покупать?»

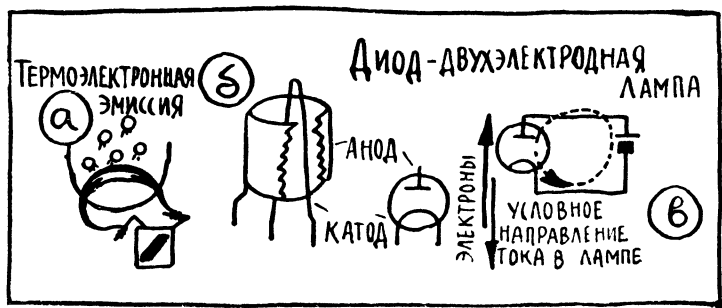


Рис. 34.

мимые и дисциплинированные труженики позволили создать тысячи точнейших методов и изумительных приборов, объединенных одним словом — электроника. Однако при рассмотрении электронных схем на движение электронов, как всегда, не обращают внимания, а пользуются условным направлением тока — считают, что ток протекает от «плюса» к «минусу», то есть от анода к катоду.

Описывая наш простейший электронный прибор — вакуумный баллон с двумя металлическими электродами, — мы упустили из виду одну «мелочь». Даже при большом напряжении анодной батареи — десятки и сотни вольт — анодного тока в баллоне не будет. Может быть, конечно, несколько наиболее резвых электронов прорвутся к аноду, но они погоды не делают, особенно если учесть, что из анодного тока мы хотим создать «мощную копию» усиливаемого сигнала.

Что же мешает возникновению анодного тока? Ведь в вакууме уже ничто не тормозит движения зарядов?

В вакууме электроны действительно двигаются совершенно свободно, но выйти из катода им так же трудно, как и раньше. Препятствий для выхода электронов несколько. Одно из них — это знакомое нам электронное облако (стр. 13), которое своим отрицательным зарядом отталкивает вылетающие электроды обратно к катоду.

Итак, последовательно, шаг за шагом, мы стараемся преодолеть все трудности, связанные с созданием электронного управляющего прибора. Облегчить электронам выход из катода — вот задача, которая стоит перед нами сейчас. Решается она довольно легко — катод необходимо сильно нагреть. При этом станет более интенсивным хаотическое движение электронов в металле и многие из них будут просто-напросто выпрыгивать из него. Выбрасывание электронов раскаленным катодом называется термоэлектронной эмиссией (термо — тепло, эмиссия — испускание, выбрасывание).

Как же практически разогреть катод? Какой нагреватель применить — костер, примус или электроплитку? Первые два

варианта, конечно, относятся к области шуток, ну, а плитка нам вполне подходит. Правда, это будет специальная плитка — роль спирали в ней будет выполнять... сам катод. Изогнем катод в виде дуги или спирали, выведем его второй конец из баллона и к имеющимся у нас теперь двум выводам катода подключим батарейку (рис. 34, а). При этом мы получим самостоятельную, так называемую накальную цепь, которая никакого отношения к другим цепям усилителя, как правило, не имеет. Минус анодной батареи можно подключать к любому из выводов катода. Вот теперь в нашем распоряжении настоящий электровакуумный прибор, простейшая электронная лампа — диод (рис. 34, б).

Под действием напряжения накальной батареи по самому катоду, как по обычному проводнику, пойдет ток (ток накала), катод накалится и начнет эмиттировать, а проще говоря, выбрасывать электроны, которые тут же устремятся к аноду.

Последнее, правда, относится не ко всем электронам — многие из них будут возвращаться обратно на катод. Здесь уже все зависит от той силы, которая притягивает электроны к аноду, то есть от анодного напряжения. Чем больше плюс на аноде, тем сильнее он тянет к себе вылетевшие из катода электроны, тем больше анодный ток.

Необходимо заметить, что увеличение анодного тока не будет беспредельным — как только в него включатся все вылетающие из катода электроны, наступит так называемое насыщение, и дальнейший рост тока станет невозможным. Однако до тех пор, пока насыщение не наступило, можно менять величину анодного тока, изменяя напряжение на аноде.

Все, о чем мы сейчас говорили, очень и очень важно. Фактически мы нащупали основу для создания в нашем приборе управляющей заслонки. Такой заслонкой может быть напряжение, которое будет влиять на ток в баллоне, подобно напряжению на аноде, но только во много раз сильнее.

Давайте между катодом и анодом установим металлическую сетку и снабдим ее самостоятельным выводом — провод-



Рис. 35.

ником, который выходит наружу сквозь стекло баллона (рис. 35, а). Теперь попробуем одним концом к этой сетке, а другим концом к катоду подключить источник усиливаемого сигнала, например микрофон (рис. 35, в). Во время разговора перед микрофоном на его выходе появится переменное напряжение низкой частоты, которое будет действовать между сеткой и катодом.

Сетка расположена очень близко к катоду — иногда расстояние между ними не превышает нескольких десятков микрон. Именно поэтому напряжение на сетке весьма сильно влияет на величину анодного тока. Когда на сетке появляется плюс, она помогает электронам покинуть район катода и тем самым увеличивает анодный ток. Минус на сетке, наоборот, отталкивает электроны обратно к катоду, из-за чего анодный ток уменьшается.

Вы уже, очевидно, догадались, что сеточное напряжение, (не сама сетка, а именно напряжение на ней) — это и есть та заслонка, с помощью которой можно плавно управлять анодным током. Для того чтобы подчеркнуть роль сетки, ее называют управляющей.

Анодный ток практически мгновенно реагирует на любые даже самые незначительные изменения сеточного напряжения, и поэтому он будет «по пятам» следовать за усиливаемым сигналом и в точности сохранит его форму. Остается лишь выяснить, будет ли полученная нами в анодной цепи копия мощнее оригинала, то есть сигнала, который дает микрофон.

Для начала отметим, что ток в сеточной цепи (в нашем случае это цепь сетка—катод—микрофон—сетка) всегда меньше, чем в анодной. Так, «втягивая» в анодный ток тысячу электронов, сетка лишь несколько из них «перехватывает себе». Практически это означает, что усиление по току нам всегда обеспечено. Можно, конечно, создать такие условия, при которых картина будет выглядеть совсем иначе, но этот случай нас не интересует.

Усиление тока само по себе ни о чем не говорит — если в 10 раз усилить ток и в 10 раз ослабить напряжение, то мощность сигнала останется неизменной. Для того чтобы решить вопрос о мощности, нам придется восполнить одно очень серьезное упущение — включить в анодную цепь нагрузку (R_n). Ведь без нагрузки вся затея с усилением не имеет никакого смысла. В нагрузке совершает полезную работу усиленный ток, в ней выделяется полезная мощность.

Принципиально нагрузку можно включить в любой участок анодной цепи, но, как правило, ее включают между плюсом анодной батареи и самим анодом. Такую нагрузку называют анодной.

В радиоприемнике можно встретить следующие виды анодной нагрузки: колебательный контур или отдельную катушку,

когда усиливается сигнал высокой частоты и громкоговоритель, или обычное сопротивление, когда усиливается сигнал низкой частоты. Мы пока остановимся на последнем, наиболее простом виде нагрузки — сопротивлении (R_n).

Анодный ток проходит по сопротивлению нагрузки и создает на нем определенное напряжение. Когда под действием входного сигнала меняется анодный ток, меняется и напряжение на нагрузке (вспомните закон Ома!). Иными словами, напряжение на нагрузке — это копия входного, то есть усиливаемого напряжения. Ну, а как же насчет усиления?

Здесь нужно оговориться, что напряжение на нагрузке состоит из двух частей, или, как принято говорить, из двух составляющих — постоянной и переменной. Постоянная составляющая никакой пользы не приносит. Она существует всегда, когда есть анодный ток. Переменная составляющая появляется лишь тогда, когда анодный ток меняется. Эта переменная составляющая как раз и есть нужная нам копия входного напряжения.

Закон Ома подсказывает нам, как можно довольно просто повысить общее напряжение на нагрузке, а значит и его пере-

ИГРА В КЛАССЫ

Несколько лет назад все отечественные приемники четко разделялись на четыре класса. Вот примерные характеристики каждого из них:

и усилитель ВЧ с настраивающимся колебательным контуром, усилитель НЧ собран, как правило, по двухтактной схеме; акустический агрегат состоит из нескольких громкоговорителей, каждый из которых воспроизводит свой

Класс	Мощность (вт)	Диапазоны	Чувствительность (мкв)	Избирательность по соседнему каналу (дб)	Полоса частот (гц)	Коэф. нелинейных искажений (%)
I	4	ДВ, СВ, КВ (растянутые)	50	46	60—6500	5
II	1,5	ДВ, СВ, КВ (растянутые)	200	26	100—4000	7
III	0,5	ДВ, СВ, КВ	300	20	150—3500	10
IV	0,25—0,5	ДВ, СВ	400	20	200—3000	10

Совершенно ясно, что различие в параметрах прежде всего определяется сложностью схемы, качеством узлов и деталей. Так, например, в приемниках первого класса почти всегда перед преобразователем частоты имеется еще

участок звукового диапазона. Сейчас не существует строгого и резкого разделения приемников на классы, но все же можно наметить несколько групп радиоприемников, параметры которых близки к указанным в таблице

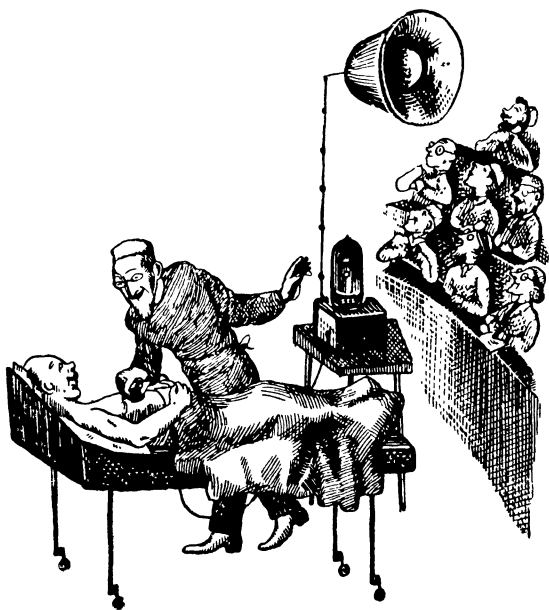
менную составляющую. Для этого достаточно увеличить само сопротивление нагрузки. Выбрав это сопротивление достаточно большим (обычно оно составляет десятки и сотни килоом), можно получить усиление по напряжению, то есть добиться того, что переменное напряжение на анодной нагрузке будет больше переменного напряжения на сетке.

Но не может ли изменяющееся напряжение на нагрузке вообще испортить все дело? Ведь само сопротивление нагрузки и сопротивление участка анод — катод по отношению к анодной батарее соединены последовательно, и чем большая часть напряжения теряется на нагрузке, тем меньшая его часть действует между анодом и катодом. Когда меняется анодный ток, меняется напряжение на нагрузке, а значит и на аноде. Так не может ли это меняющееся анодное напряжение помешать переменному напряжению, действующему на сетке? Ведь оба эти напряжения действуют на анодный ток. Кто же из них окажется сильнее?

Здесь придется вспомнить одну деталь, которая, может быть, в свое время осталась незамеченной. Когда мы вводили в баллон управляющую сетку, то договорились, что она будет расположена рядом с источником электронов — катодом. Ну, а чем ближе электрические заряды друг к другу, тем сильнее они взаимодействуют — в этом легко убедиться, приближая наэлектризованную гребенку к кусочку бумаги. Вы уже, очевидно, сами догадались, что именно поэтому напряжение на управляющей сетке влияет на анодный ток намного сильнее, чем напряжение на аноде. И именно поэтому можно допустить, чтобы напряжение на нагрузке, а значит и на аноде, менялось в довольно больших пределах. Это не мешает нормальной работе управляющей сетки — даже небольшое напряжение на ней по-прежнему будет «командовать» анодным током. В этом основа усиления по напряжению.

Итак, последнее препятствие позади — есть усиление по току и по напряжению, а значит и по мощности — из маленького слоненка все-таки получился слон! Цель, к которой мы так долго и упорно стремились, достигнута, и уже, по-видимому, настало время назвать настоящее имя главного виновника нашего торжества. Это широко распространенный электровакуумный прибор, простейшая усилительная лампа — триод (рис. 35). Такое название лампа получила потому, что в ее баллоне находятся три электрода — анод, катод и управляющая сетка.

Правда, лампу, о которой мы все время говорили, правильнее было бы назвать упрощенной моделью триода. Сейчас нам предстоит познакомиться с устройством реальных ламп и включением их в реальные усилительные схемы.



НАСТОЯЩИЙ ТРИОД В НАСТОЯЩЕМ УСИЛИТЕЛЕ

Почти все современные отечественные лампы имеют вертикальную конструкцию. Вертикально располагаются внутри баллона электроды да и сама лампа, как правило, стоит в аппаратуре вертикально. Правда, иногда можно встретить и лампу, установленную горизонтально, но это на ее работу не влияет — лампу можно переворачивать хоть «вверх ногами».

Внутри баллона все электроды объединены в одну жесткую конструкцию. Они закреплены на металлических стойках — траверсах, как бы зажатых между двумя слюдяными дисками (рис. 36, а). В центре находится катод, а вокруг него на двух траверсах навита управляющая сетка, которая, правда, уже давно для простоты выполняется в виде спирали (рис. 35, б). Поверх управляющей сетки-спирали, также на двух траверсах, закреплен анод — круглый или сплюснутый цилиндр, а иногда и прямоугольный короб. В лампах такой конструкции электроны двигаются к аноду во всех направлениях, пути электронов напоминают лучи солнца на детском рисунке.

Выводы всех электродов направлены вниз и выходят наружу сквозь дно баллона. Для того чтобы упростить подключение лампы к электрическим цепям радиоаппарата, применяется состоящий из панельки и цоколя электрический раз-



Рис. 36.

см — некоторое подобие розетки с вилкой. Цоколь закреплен на баллоне, и к его контактным штырькам подсоединены выводы электродов. Панелька, наоборот, устанавливается на шасси радиоаппарата, и различные его цепи соединены с контактными гнездами панельки. Лампа включается в аппарат, когда штырьки цоколя входят в соответствующие гнезда панельки.

На протяжении многих лет в нашей стране в основном выпускались стеклянные и металлические лампы с пластмассовым октальным цоколем (рис. 37, в). Такое название он получил потому, что имеет восемь (по-гречески — окта) контактных штырьков, равномерно расположенных по кругу. Иногда, правда, в зависимости от количества электродов в лампе, на октальном цоколе может быть меньше восьми штырьков. Для того чтобы не произошло ошибки при установке лампы, в центре цоколя имеется ключ с выступом, а в панельке вырез соответствующей формы. Благодаря этому лампа может быть установлена на панели только в одном-единственном положении. В некоторых, в основном в старых, типах ламп один из электродов (почти всегда управляющая сетка) имеет отдельный вывод — колпачок в верхней части баллона.

Два слова о металлических лампах, которые, вообще-то говоря, мало чем отличаются от стеклянных. В дно металлической лампы вварена стеклянная «пуговичка», сквозь которую проходят выводы электродов. Через нее же производится откачка воздуха.

Кстати, о воздухе. Для того чтобы «связать» воздух, который остается даже после самой тщательной откачки, в баллон вводят специальный поглотитель — геттер. После того как лампа полностью изготовлена, геттер особым способом распыляют и он осаждается на стенках. При этом получается черное, а местами зеркальное покрытие, которое хорошо видно в стеклянных лампах.

Несколько лет тому назад наша промышленность освоила

новую конструкцию ламп, которые из-за сравнительно небольших габаритов были названы пальчиковыми. Сейчас эти лампы стали самыми распространенными. В пальчиковых лампах роль цоколя выполняет стеклянное дно, в котором закреплены контактные штырьки. Выводы электродов приварены к штырькам внутри баллона.

Пальчиковые лампы бывают двух типов — семиштырьковые (рис. 37, а) и девятиштырьковые (рис. 37, б). Совершенно очевидно, что в соответствии с этим выпускаются семи- и девятигнездные панельки. На цоколе любой пальчиковой лампы всегда имеются все семь или девять ножек. Для правильной установки лампы расстояние между двумя определенными соседними ножками заметно увеличено. Нужно прямо сказать, что вставить пальчиковую лампу в панельку не всегда просто, особенно если панелька находится в каком-нибудь труднодоступном углу. Здесь нужно забыть про свои мускулы и рассчитывать только на терпение.

В некоторых аппаратах, например в слуховых, применяются так называемые сверхминиатюрные лампы, которые в несколько раз меньше пальчиковых. Эти лампы не имеют ни цоколя, ни штырьков — выводы у них сделаны из гибкого провода, который просто припаивается к нужным элементам цепи.

Заканчивая разговор об устройстве лампы, рассмотрим более подробно один из ее электродов, а именно — катод.

Все катоды можно разделить на две основные группы: прямого накала (рис. 36, б) и подогревные, или как их еще называют, косвенного накала (рис. 36, в). Катод прямого накала — это обычная растянутая между слюдяными дисками проволока, двойная, похожая на букву Л, или зигзагообразная, напоминающая букву М. Прямонакальным такой катод называют потому, что он сам является спиралью «электроплитки», то есть ток накала проходит непосредственно по нему.

Иначе устроен подогревный катод. Он представляет собой

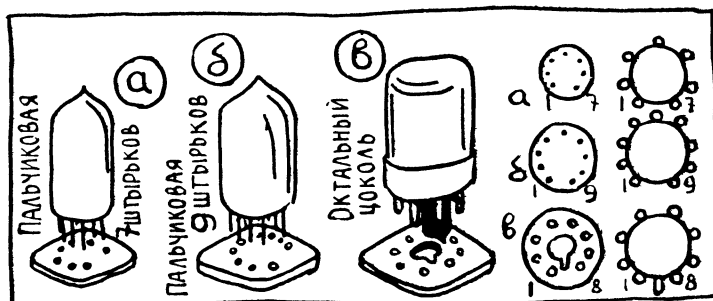


Рис. 37.

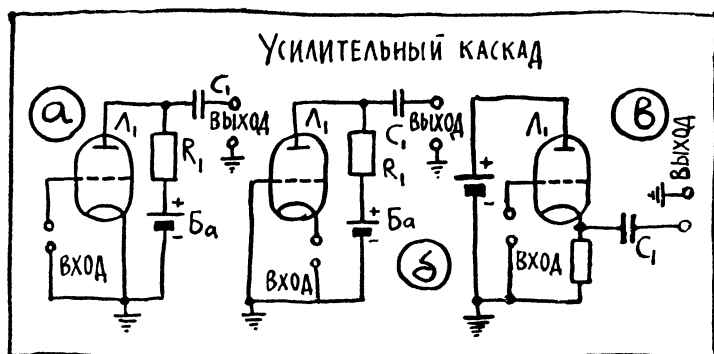


Рис. 38.

круглую или прямоугольную трубку, внутрь которой вставлен специальный подогреватель — тонкая, сложенная в несколько раз и тщательно изолированная проволока или спираль, которую часто называют нитью накала. Такой катод — это уже не электроплитка, а всего лишь чайник, установленный на плитке-подогревателе. Система с подогревом почти всегда имеет три вывода — два от подогревателя и один самостоятельный от катода. В то же время прямонакальный катод имеет всего два вывода — ведь он «сам себе» подогреватель. Нить накала в подогревном катоде играет вспомогательную роль, и поэтому отдельным электродом ее не считают и на упрощенных схемах не рисуют.

Когда-то катоды электронных ламп делали из тугоплавкого металла и нагревали их до температуры 2000—3000 градусов. Лампа с таким катодом могла бы по совместительству освещать, а иногда даже обогревать помещение. Сейчас вольфрамовые катоды сохранились лишь в очень мощных лампах, предназначенных для радиопередатчиков. Во всех электронных лампах небольшой мощности, и в том числе в лампах для приемников, телевизоров, магнитофонов, используются активированные катоды. Они лучше, чем вольфрамовые, эмиттируют электроны, потребляют меньше энергии и работают при сравнительно небольших температурах — 800—1200 градусов. Как вы уже, очевидно, догадались, все эти замечательные свойства достигаются за счет того самого активирования, о котором говорится в названии катода.

Активирование заключается в том, что катод снаружи покрывают тончайшим, буквально в один атом толщиной, слоем бария или окислов некоторых металлов. Активирование облегчает электронам выход из катода, но в то же время активированные катоды требуют очень бережного отношения к себе. Даже небольшое на 5—10% перекаливание активированного катода резко снижает срок его службы — активный

слой преждевременно разрушается и лампа выходит из строя, как принято говорить, «теряет эмиссию». При нормальной эксплуатации большинство ламп с активированным катодом работает несколько тысяч часов.

Следующий вопрос, на котором мы остановимся, это включение триода в реальную усилительную схему. Здесь есть одна очень важная особенность, с нее мы и начнем.

Сколько будет $2+2$? Подождите улыбаться, нам сейчас придется рассмотреть случай, когда результат равен... трем.

Для того чтобы подвести к усилителю входное напряжение, нужно иметь два входных зажима. Два зажима нужно для того, чтобы вывести или, как говорят, снять усиленное выходное напряжение. В итоге получается четыре. А у триода есть только три электрода (подогреватель считать нечего, мы уже об этом говорили). Вот и выходит, что нам нужно получить $2 + 2 = 3$! И самое интересное, что сделать это можно, причем тремя разными способами: нужно так составить схему, чтобы один из электродов — катод, анод или сетка использовался бы дважды — и во входной и в выходной цепи (рис. 38, а, б, в). Из этих трех решений мы рассмотрим одно самое распространенное — схему с общим катодом (рис. 38, а).

Перед тем как рисовать схему, еще одно замечание. Радиоэлектронную аппаратуру, как правило, монтируют на металлическом шасси (хотите убедиться — загляните внутрь приемника). Шасси — хороший проводник тока, и его всегда используют как одну из соединительных цепей. В приемниках, например, шасси выполняет роль проводника, соединенного с заземлением. Поэтому когда требуется какую-нибудь деталь заземлить, ее просто соединяют с шасси. Так поступают и с катодом. В этом случае все цепи, соединяющиеся с катодом, а таких цепей несколько, достаточно подключить к шасси. Совершенно ясно, что шасси сможет служить одним из проводов

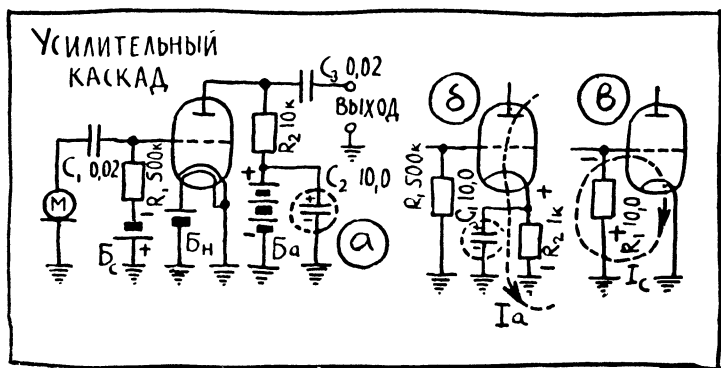


Рис. 39.

накала. Если лампа имеет катод прямого накала, то с шасси соединяют «плюс» накальной батареи и одновременно «сажают» на шасси один из выводов катода каждой лампы. Это позволит вести к катоду лишь один провод от накальной батареи, от ее «минуса».

Теперь нарисуем схему, она довольно проста (рис. 39, а).

Источник входного сигнала (в нашем примере микрофон) одним концом, через конденсатор C_1 , подключается к сетке, другим — к катоду через шасси. Таким образом, усиливаемое напряжение, как это и должно быть, действует между сеткой и катодом.

«Минус» анодной батареи заземлен, то есть опять-таки подключен к катоду. «Плюс» попадает на анод через сопротивление нагрузки R_2 . Анодный ток замыкается по цепи: «плюс» — нагрузка анод — катод — шасси — «минус». Ну, а как снять усиленное напряжение с нагрузки? Для того чтобы упростить эту операцию, «плюс» анодной батареи заземляют через конденсатор C_2 . Этот конденсатор называют по-разному — иногда развязывающим или просто развязкой, иногда блокировочным, а иногда конденсатором фильтра. В дальнейшем мы будем пользоваться первым названием — оно лучше других отражает суть дела.

На постоянное напряжение и постоянную составляющую анодного тока конденсатор развязки не оказывает никакого влияния. Что же касается переменной составляющей, то теперь она с нагрузки замкнется прямо на шасси, то есть на катод. Таким образом, наш конденсатор как бы развязывает сложный узел, отводит переменную составляющую от анодной батареи, где этой составляющей, грубо говоря, нечего делать.

Благодаря включению развязки возникающее на нагрузке переменное (выходное) напряжение действует между анодом и заземленным катодом. Правда, если вы захотите отвести это напряжение или просто измерить его, то к аноду лампы нужно будет подключиться через конденсатор C_3 — он предохранит вас от постоянного напряжения, которое всегда имеется на аноде. Этот конденсатор обычно называют разделительным или переходным.

Еще одна деталь, которую можно увидеть на схеме, сопротивление R_1 , включенное между сеткой и катодом. Оно называется сопротивлением утечки или просто утечкой и нужно для того, чтобы электроны, попавшие на сетку, могли как-нибудь вернуться на катод. Если утечки не будет, то электроны, случайно попавшие на сетку, будут накапливаться там и через некоторое время их общий отрицательный заряд на сетке создаст непреодолимое препятствие для электронов, которые летят к аноду. Анодный ток прекратится, и лампа, как принято говорить, окажется запертой.

Не нужно, однако, думать, что любой отрицательный заряд,

то есть любое отрицательное напряжение на сетке (относительно катода), запирает лампу. Отсутствие утечки опасно тем, что на сетке образуется слишком большой «минус». Что же касается небольшого отрицательного напряжения, то оно оказывается даже полезным, так как ограничивает начальную величину анодного тока и резко уменьшает, практически совсем ликвидирует, никому не нужный сеточный ток (рис. 35, *г*). Такое отрицательное напряжение — его называют отрицательным смещением — почти всегда подают на сетку одновременно с усиливаемым сигналом. В нашей схеме источником смещения является отдельная батарея B_c . Конденсатор C_1 предохраняет ее от замыкания на землю через цепь микрофона. В приемниках такая схема почти никогда не применяется.

В приемниках можно встретить три схемы подачи отрицательного смещения. В первой (рис. 39, *б*) оно образуется на небольшом сопротивлении R_2 , включенном между катодом и шасси. По этому сопротивлению проходит анодный ток I_a , и на нем возникает постоянное напряжение, которое и служит смещением. Поскольку ток течет с катода к шасси, то «плюс» этого смещения приложен к катоду, а «минус» через сопротивление утечки R_1 к сетке. Для того чтобы беспрепятственно пропустить на шасси переменную составляющую анодного тока, в катодную цепь включают развязывающий конденсатор C_1 .

В другой схеме (рис. 39, *в*) источником смещения служит сама утечка R_1 . Дело в том, что небольшой сеточный ток в лампе есть всегда, и если взять очень большое 10—20 *Мом*, то на нем можно получить смещение порядка 1 *в*.

С третьей, очень распространенной схемой подачи отрицательного смещения мы познакомимся позже (рис. 48).

Если вы разобрались, как работает простейший усилитель, выполненный на простейшей усилительной лампе — триоде, то у вас в руках ключ к пониманию работы всего приемника. Любой, даже самый сложный приемник — это прежде всего колебательные контуры, детектор, ламповые усилители, и теперь мы знакомы со всеми этими элементами.

Мы не случайно назвали триод простейшей усилительной лампой. Наряду с триодом существуют более сложные электронные лампы, и в основном именно они применяются в современных приемниках.



ЛАМПЫ РАЗНЫЕ НУЖНЫ, ЛАМПЫ ВСЯКИЕ ВАЖНЫ

Около двадцати лет тому назад был издан справочник, где приводились основные данные о всех электронных лампах, когда-либо выпущенных в мире. В этом справочнике было около 10 000 названий ламп. Почему так много? Ну, во-первых, лампы все время совершенствовались: современный триод, например, совсем не похож на первые трехэлектродные лампы, появившиеся на свет в 1907 году. В биографии лампы можно найти несколько периодов, когда вся она или отдельные ее детали претерпевали самые серьезные изменения.

Во-вторых, разные страны, а иногда и отдельные опасаящиеся конкуренции фирмы выпускали свои собственные типы ламп, и сейчас в мире существуют десятки ламп, совершенно одинаковых по своим усилительным возможностям, но отличающихся устройством.

Наконец, третья причина — для разных радиоустройств нужны различные электронные лампы, работающие при разных анодных или накальных напряжениях, позволяющие получить большос усиление по току или большое усиление по

напряжению, лампы, рассчитанные на различные виды анодной нагрузки и т. д. Так, например, среди современных отечественных ламп вы найдете около двух десятков триодов, каждый из которых имеет свои особенности. А ведь, кроме триодов, имеются другие типы усилительных ламп, и среди них существует такое же, если не большее, разнообразие. Сейчас мы попробуем разобраться в богатом ассортименте ламп, научимся отличать одну лампу от другой и в ряде случаев решать вопрос об их взаимной замене.

Наш любимец триод далеко не безгрешен — у него есть два весьма серьезных недостатка. Во-первых, в триоде открыт путь для так называемой обратной связи, то есть для влияния выходного сигнала на входной. Анод и управляющая сетка триода образуют своего рода конденсатор, и именно через него «мощная копия» воздействует на свой оригинал. В зависимости от целого ряда обстоятельств обратная связь может усиливать входной сигнал или, наоборот, ослаблять его. В обоих случаях нормальная работа усилителя нарушается, и поэтому большую емкость между анодом и сеткой относят к недостаткам триода.

Второй недостаток триода можно было бы определить так: анодное напряжение слишком сильно управляет анодным током. Правда, наш прежний вывод о том, что анод действует на ток слабее, чем сетка, остается в силе — иначе лампа вообще не усиливала бы напряжения. И все же хотелось, чтобы переменное анодное напряжение еще меньше «вмешивалось» в дела анодного тока, чтобы полновластным хозяином здесь был только входной сигнал, поданный на сетку.

Оба недостатка триода устраняются одним ударом — между управляющей сеткой и анодом располагают четвертый электрод — так называемую экранирующую сетку (рис. 40, а). Также как и управляющая, это сетка только по названию, фактически она представляет собой спираль. Четырехэлектродная лампа называется тетродом — тетра по-гречески значит четыре. Для того чтобы экранирующая сетка выполняла свои функции, нужно подать на нее положительное напряжение и одновременно заземлить ее через конденсатор (рис. 41).

Положительное напряжение на экранирующей сетке ускоряет движение электронов, которые, пролетев сквозь нее так же легко, как и через управляющую сетку, устремляются к аноду. Положительное напряжение на экранирующей сетке, для краткости мы будем называть его просто экранной напряжением или «плюсом» на экране, заметно уменьшает влияние анодного напряжения на анодный ток. Как бы ни уменьшался теперь «плюс» на аноде (на схемах для краткости пишут $+A$), экранная сетка продолжает делать свое дело — с постоянной силой подталкивать электроны к аноду.

Здесь необходимо отметить, что часть электронов, пример-

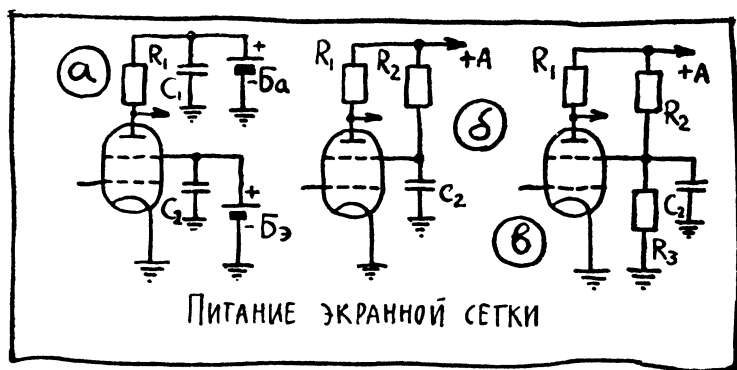


Рис. 41.

но 5—10%, перехватывается самой экранной сеткой, и в лампе появляется экранный ток — некоторое подобие анодного тока. Экранный ток позволяет очень просто подавать напряжение на экранную сетку от анодной батареи (рис. 41, б). Дело в том, что для большого числа ламп экранное напряжение должно быть меньше анодного. Это довольно легко сделать, если подать напряжение на экранную сетку с «плюса» анодной батареи через гасящее сопротивление R_2 . Проходя по этому сопротивлению, экранный ток создаст на нем какое-то падение напряжения (закон Ома!) и в результате этого уменьшится напряжение на экранной сетке. Так, например, если напряжение анодной батареи 250 в и на гасящем сопротивлении теряется 150 в, то на экранной сетке (то есть между этой сеткой и «землей») действует остаток 100 в. Из сказанного ясно, что для того, чтобы понизить экранное напряжение, достаточно увеличить гасящее сопротивление. Довольно часто пониженное напряжение на экранную сетку подают с делителя (рис. 41, в).

Конденсатор C_2 в цепи экранной сетки выполняет роль обычной развязки — он замыкает на «землю», то есть на катод, переменную составляющую экранного тока, которая появляется под действием усиливаемого сигнала. Но это далеко не все. Конденсатор в экранной цепи замыкает на «землю» также и переменные токи, которые в триоде попадали из выходной цепи во входную и таким образом создавали обратную связь. Теперь эти токи пройдут на «землю» по пути наименьшего сопротивления, то есть через емкость анод — экранная сетка, и через развязывающий конденсатор. Так экранная сетка защищает управляющую от анода.

Несмотря на очевидные достоинства, тетрод не получил широкого распространения, а в современных приемниках он не применяется вообще. Причиной этому одно весьма неприятное явление с довольно громоздким названием «динатронный эффект».

Когда электроны с большой скоростью врываются в анод, то они выбивают из металла другие, так называемые вторичные электроны. Казалось бы, что эти электроны, так же как и основные, первичные, должны вернуться обратно на анод под действием положительного напряжения. Однако так бывает не всегда.

Поскольку на нагрузке действует переменное (выходное) напряжение, то меняется напряжение и на аноде — об этом мы уже говорили не раз. В некоторые моменты времени напряжение на аноде может уменьшиться очень сильно, буквально до нескольких вольт, и анод почти совсем перестанет притягивать электроны. В эти тяжелые минуты большую помощь аноду оказывает экранная сетка — именно она поддерживает анодный ток, подталкивает электроны к ослабшему аноду.

Но беспрестанно уменьшать анодное напряжение нельзя. Наступает такой момент, когда лампа вдруг перестает нормально работать, ее анодный ток резко уменьшается, а экранный — возрастает. Что же случилось? Кто виновник катастрофы? Оказывается, когда напряжение на аноде становится значительно меньше, чем на экранной сетке, та начинает «затягивать» вторичные электроны, которые создают встречный ток, направленный против основного анодного тока. Это явление и называется динаatronным эффектом.

Для того чтобы спасти тетрод, устранить в нем динаatronный эффект, применяют так называемую лучевую конструкцию лампы (рис. 40, б). С помощью довольно простых приспособлений заставляют электроны двигаться от катода к аноду не широким фронтом, как в обычной лампе, а узкими,

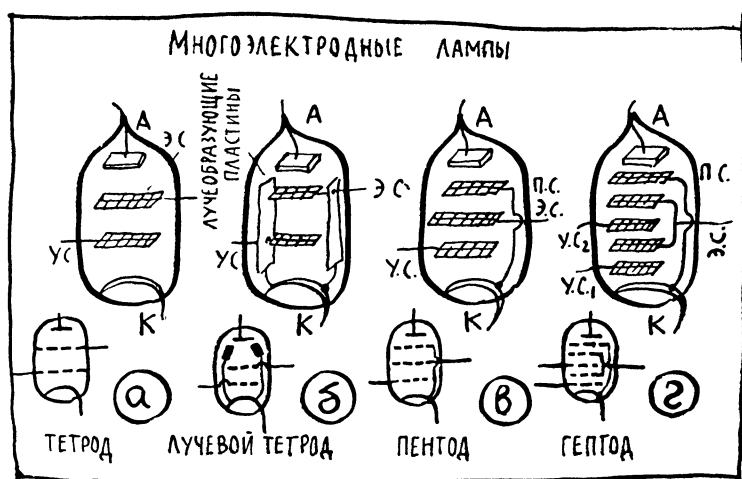


Рис. 40.

острыми лучами. Эти электронные лучи как бы отталкивают к аноду вторичные электроны и таким образом предотвращают динаatronный эффект.

Лучевой тетрод — весьма распространенный тип усилительных ламп, но еще большей популярностью пользуется пентод — пятиэлектродная лампа (рис. 40, в). Пятый электрод — это еще одна, третья по счету сетка, расположенная вблизи анода. Эта сетка, которую называют пентодной или антидинаatronной, всегда соединена с катодом либо внутри баллона, либо на ламповой панельке. Именно подключение к катоду позволяет пентодной сетке успешно бороться с динаatronным эффектом.

Если вы живете на втором этаже, а ваш товарищ на первом, то справедливо сказать, что вы живете выше его или, наоборот, что он живет ниже вас. Когда мы говорим, что на аноде «+» относительно катода, то это одновременно значит на катоде «—» относительно анода. Пентодная сетка соединена с катодом, и поэтому на ней также действует «—» относительно анода. Именно этот «минус» отталкивает обратно к аноду вторичные электроны, ставит для них непреодолимый барьер на пути к экранной сетке. Что же касается основных, первичных электронов, то они практически не успевают «почувствовать» отрицательного напряжения на пентодной сетке и с большей скоростью пролетают сквозь нее, попадая на анод.

Кроме обычных усилительных ламп — триода, лучевого тетрода и пентода, в приемнике применяются еще некоторые специальные лампы. Из них мы рассмотрим только одну — гептод, лампу с семью электродами (рис. 40, г). Она является своеобразным объединением двух пентодов. Как и в обычном пентоде, в этой лампе есть анод, катод и антидинаatronная

ЛАМПЫ ВМЕСТО ЛАМП

Неприятности случаются, как правило, в самые неподходящие моменты. В разгар праздничного вечера вдруг сгорает в радиоле лампа. В этой трагической ситуации вы принимаете смелое решение — забраться в телевизор и извлечь оттуда какую-либо лампу для замены сгоревшей. Но какую?..

Заменить лампы без каких-либо переделок и монтажа можно лишь в том случае, если эти лампы имеют одинаковые цоколевки. Однако этого еще недостаточно. Лампы должны иметь близкие ос-

новные параметры и рекомендованные режимы работы. Ниже приводится короткий список, в котором указаны группы взаимозаменяемых ламп.

5Ц3С, 5Ц4М, 5Ц4С
6С2С, 6С5С, 6Е5С
6Н8С, 6Н9С
6Г1, 6Г2
6Ж1П, 6Ж3П, 6К1П
6Ж4П, 6К4П
6Ж7, 6К7.
6Ж4, 6Ж8.
6П6С, 6Ф6С, 6ПЗС,
6П14П, 6П18П

Это, конечно, далеко не полный список, но даже им пользоваться нужно умело. Так, например, за-

сетка, но кроме них, в гептоде еще имеются две управляющие и две экранные сетки. Конструктивно гептод выполнен так же, как и все остальные лампы,— его сетки — это проволоочные спирали, навитые на траверсах и расположенные вокруг катода на различных расстояниях от него. Одна из экранных сеток находится на своем обычном месте рядом с пентодной, а вторая — между управляющими сетками. Обе экранные сетки соединены внутри баллона и имеют общий вывод — к ним подключается один конденсатор и одно гасящее сопротивление. Что же касается управляющих сеток, то выводы у них отдельные и потому анодным током гептода могут одновременно управлять два входных сигнала.

Основными особенностями различных типов ламп, например различных пентодов или триодов, являются их типовые, то есть рекомендованные режимы, основные усилительные параметры, конструктивное выполнение, так называемая цоколевка — схема подключения электродов к контактным ножкам цоколя, а также некоторые особенности, связанные с различным назначением ламп.

Основные режимы лампы — это напряжения на ее электродах и соответствующие им токи. В конце этой книги вы увидите цоколевки распространенных отечественных ламп. Возле каждого электрода указан его типовой режим, а рядом с лампой — некоторые ее параметры — крутизна характеристики S , внутреннее сопротивление R_i , коэффициент усиления μ и для некоторых ламп выходная мощность и $P_{\text{вых}}$ и оптимальное сопротивление нагрузки R_a . В числе параметров можно встретить и допустимую мощность рассеивания на аноде P_a . Для комбинированных ламп, например 6И1П, иногда указывают параметры отдельных частей (например, триода и гептода).

мену выходных ламп на менее мощные, допустим 6ПЗС на 6П6С, можно производить совершенно спокойно. В то же время обратная замена может вызвать перегрузку выходного и силового трансформатора, а значит, и их перегрев. Оптический индикатор настройки может заменить триод, но совершенно ясно, что никакому триоду не «взять» на себя функции лампы 6Е5С. В то же время приведенный список можно легко дополнить. Так, в частности, пентоды из группы 6Ж1П могли бы заменить пентоды из группы 6Ж4П там, где пентодная сетка соединена с катодом на ламповой

панельке. При этом условии к группе 6П14П, 6П18П можно было присоединить еще 6П13. Вы уже догадались, что в этой лампе, так же как и в 6К4П, пентодная сетка не соединена с катодом внутри баллона и имеет отдельный вывод на цоколь. Вместо выходных ламп из группы 6ПЗС можно использовать триоды 6С2С, 6С5 и даже лампу 6Е5С, но выходная мощность при этом резко уменьшится.

Во многих случаях замена одного типа ламп другими может пройти безболезненно. И все же по возможности такой замены следует избегать.

Говоря о режимах, нужно прежде всего разделить лампы на две группы — батарейные, предназначенные специально для приемников с питанием от батарей, и сетевые для приемников с питанием от обычной сети переменного тока.

Все батарейные лампы имеют катод прямого накала *, причем напряжение накала и накальный ток весьма малы.

В большинстве новых ламп напряжение накала 1,2 в, а в более старых типах — 2 в. Особой является лампа 2П1П (2П2П), у которой две нити накала. При последовательном их соединении к лампе нужно подвести напряжение канала 2, 4 в, при параллельном соединении — 1,2 в. Анодное напряжение у батарейных ламп также невелико — обычно 60—90 в. Практически они работают и при более низких напряжениях, вплоть до 20—30 в.

Напряжение накала всех сетевых ламп — 6,3 в. Эта величина не является случайной, она учитывает возможность питания ламп от аккумуляторов. Три соединенные последовательно кислотных аккумулятора как раз и дают напряжение 6,3 в. Имеются сетевые лампы с напряжением 12,6, 30 и даже 50 в, но мы о них говорить не будем, так как они широкого распространения не получили.

Для большинства сетевых приемных радиоламп принято анодное напряжение 250 в, однако в реальных приемниках лампы часто работают при пониженном напряжении, вплоть до 200—150 в. Это несколько ухудшает усилительные характеристики ламп, но зато заметно снижает потребляемую мощность и упрощает систему питания. Экранное напряжение в этом случае занижено пропорционально анодному и лежит в пределах 30—150 в вместо номинальных 100—250 в. Нужно сказать, что некоторые отклонения анодных и экранных напряжений от номинала не очень заметно влияют на работу приемника. Значительно хуже обстоит дело с напряжением накала. Даже небольшой, на 10—15% перекал катода резко сокращает срок его службы, приводит к преждевременному разрушению активного слоя. В то же время недокал ухудшает усилительные свойства лампы. Некоторые типы ламп в некоторых схемах при недокале на 20—25% совсем перестают выполнять свои функции.

Среди режимов ламп можно встретить и величины токов — накального, анодного, экранного. Токи эти в основном определяются напряжениями на электродах, однако зависимость здесь не всегда простая. Так, например, если уменьшить напряжение накала, то одновременно уменьшатся все токи лампы. Понижение экранного напряжения влечет за собой уменьшение не только тока экранной сетки, но и анодного тока.

* В дальнейшем мы будем говорить лишь о лампах, применяемых в современных радиоприемниках.

Сильно влияет на ток в баллоне смещение — постоянное напряжение на управляющей сетке. Его величина также, как правило, указывается среди рекомендованных режимов.

Сравнивая анодные токи различных ламп, вы, очевидно, обратили внимание на две явно выраженные группы. У одних ламп анодный ток весьма мал, что-нибудь 2—10 *ма*, а у ламп другой группы анодный ток составляет несколько десятков миллиампер. Это так называемые выходные лампы. Их главное назначение — создавать сравнительно мощный, до нескольких ватт, выходной сигнал, который мог бы привести в движение диффузор громкоговорителя. Поскольку все лампы в приемнике работают примерно при одинаковых напряжениях, то значительную мощность выходная лампа может развить только за счет сравнительно большого тока. У этих ламп заметно повышен и ток накала для того, чтобы можно было получить достаточную эмиссию электронов с катода. Выходные лампы — это, как правило, пентоды или лучевые тетроды и сравнительно редко триоды.

Среди ламп, от которых не требуется значительной мощности, наиболее широко распространены пентоды для усиления напряжения высокой и низкой частот. Об усилительных свойствах таких ламп довольно ясно говорит крутизна их характеристики. Мы уже отметили, что при изменении напряжения на сетке меняется анодный ток лампы. Более четко об этом как раз и говорит крутизна — она указывает, на сколько миллиампер меняется анодный ток при изменении напряжения на сетке на 1 *в*. Так, в частности, лампа с крутизной 5 *ма/в* в типичной схеме усилителя высокой частоты даст усиление сигнала в 2 раза больше, чем лампа с крутизной 2,5 *ма/в*.

Все маломощные пентоды принято делить на две основные группы — с постоянной и переменной крутизной. У ламп второй группы крутизна зависит от напряжения смещения — чем больше отрицательное напряжение на сетке, тем меньше крутизна, тем меньше усиливает лампа. Это дает возможность осуществить автоматическую регулировку усиления, с которой мы познакомимся в конце книги.

Для усиления низкой частоты широко применяются и триоды. Часто их объединяют по два в одном баллоне, и лампа тогда называется двойной триод. Встречаются и другие комбинированные лампы, в частности, триод — пентод, триод — гептод и другие.

Специальные типы триодов и двойных триодов предназначены для работы на ультракоротких волнах. Нужно сказать, что с увеличением частоты, то есть с уменьшением длины волны, условия работы лампы резко изменяются. Прежде всего это связано с огромной скоростью всех процессов — уже на частоте 100 *Мгц* (волна 3 *м*) период колебаний длится всего сотую микросекунды! Электроны не всегда, точнее не во всех

лампах, поспевают за столь быстрым изменением сигнала. Кроме того, с увеличением частоты резко возрастает значение даже самой маленькой индуктивности и емкости. Так, например, сравнительно небольшой проводник на метровых волнах ведет себя так же, как на длинных волнах вела бы себя катушка индуктивности, имеющая несколько десятков витков. Все это заставляет применять для УКВ-диапазона специфические схемы и методы монтажа, специальные усилительные лампы.

Рассматривая различные типы ламп, мы забыли о самой простой, о диоде. Электровакуумный диод, так же как и полупроводниковый, имеет всего два электрода — катод и анод. Оба диода обладают совершенно одинаковой «квалификацией» — они умеют пропускать ток только в одну сторону и поэтому могут работать в детекторе. С помощью диодов можно делать «и кое-что другое», но об этом вы узнаете уже в следующей главе.

О лампе можно кое-что узнать и по ее названию. Так, первая цифра указывает напряжение накала в вольтах, следующая за ней буква говорит о типе лампы. При этом приняты следующие обозначения: А — гептод, Б — диод (двойной диод)-рентод, Г — диод (двойной диод)-триод, Е — оптический индикатор настройки, Ж — маломощный пентод, К — пентод с удлиненной характеристикой, или, иначе, с переменной крутизной, И — триод-гептод, Н — двойной триод, П — мощный (выходной) пентод или лучевой тетрод, С — триод, Ф — триод-пентод (кроме пентода 6Ф6С), Х — двойной диод, Ц — кенотрон, Э — тетрод.

Третий элемент обозначения — цифра. Это уже конкретный тип, разновидность указанного перед этим общего типа. Так, например, все выходные лампы обозначаются буквой П, но выходных ламп имеется несколько типов, и цифра, следующая после буквы П, как раз и говорит о том, к какому из них относится данная лампа. В частности, лампы 6П1П, 6П18П, 6П14П — это все выходные лампы, но лампы, конечно, разные.

Наконец, четвертый, последний элемент обозначения указывает некоторые конструктивные особенности лампы. Буква С говорит о том, что лампа стеклянная, Р — сверхминиатюрная (диаметр 4 мм), П — пальчиковая, А и Б миниатюрная (диаметр 6 и 10 мм) и т. д.

Среди огромного множества электронных ламп можно выделить группы, в которых одни лампы можно заменять другими даже без всякой переделки радиоаппарата (стр. 124). Если же пойти на изменение монтажа (например, замена типа панельки) или на изменение схемы (например, подбор гасящих сопротивлений), то список взаимозаменяемых ламп можно значительно расширить.



ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ

Вы едва успели попасть в столовую буквально за несколько минут до закрытия. Сердитый официант на все вопросы отвечает довольно однообразно. «Первого нет... Второго нет... Закуска нет уже давно... Что же есть? Только компот...» Что поделаешь! Приходится брать пять стаканов компота. Раз в жизни можно и так пообедать...

А вот с электронной лампой подобный номер не пройдет — ей обязательно подавай полноценный обед и, как минимум, из двух блюд. На первое — полную порцию напряжения накала, на второе — анодное напряжение. Напряжение на экранную сетку и смещение на управляющую обычно можно выкроить из анодного питания (рис. 39, б и 41, б, в).

Когда речь идет о питании батарейного приемника, все обстоит сравнительно просто. Нужно иметь две батареи: накальную — низкого напряжения, способную отдать сравнительно большой ток, и анодную — с напряжением в несколько десятков вольт, от которой потребляется ток несколько десятков миллиампер. Иногда к этому обязательному «меню» добавляют еще и третье блюдо — батарею сеточного смещения.

Намного сложнее решаются вопросы питания ламповых

радиоприемников, когда поставщиком энергии является электрическая сеть переменного тока. Здесь приходится решать сразу две проблемы. Во-первых, нужно из имеющегося стандартного напряжения 127 или 220 в получить пониженное напряжение накала, как правило, 6,3 в и повышенное анодное напряжение 150—250 в.

Что касается накала ламп, то подогревные катоды можно питать непосредственно переменным током. Если бы мы пропустили переменный ток через тонкую ниточку катода прямого канала, то работу приемника сопровождал бы сильный гул, как его называют, фон переменного тока. Частота переменного тока в сети — 50 гц. Это значит, что 100 раз в секунду как во время положительной, так и во время отрицательной амплитуды накального тока будет происходить некоторый подъем температуры катода. Из-за этих пульсаций температуры будет пульсировать ток эмиссии, а значит, и анодный ток лампы. В результате в анодных цепях всех ламп появится мешающий сигнал — фон, который будет воспроизведен громкоговорителем в виде грубого низкого тона.

Совсем иначе обстоит дело в подогревных лампах. Вспервых, здесь вся конструкция катода более массивна и поэтому обладает значительной тепловой инерцией. Катод не успевает остывать и нагреваться при быстрых изменениях сетевого тока, и температура его практически остается постоянной. Этому, конечно, способствует и то, что нить накала отделена от самого катода.

Итак, накальные цепи сетевых ламп можно питать переменным током. Но где взять необходимое для этого низкое напряжение? Вы уже, наверное, догадались, что его можно получить с помощью трансформатора.

Впервые мы встретились с трансформатором, когда говорили о входных цепях приемника (стр. 97). Здесь мы отметили лишь качественную сторону процесса — переменный ток в первичной обмотке создает переменное магнитное поле, и оно наводит переменное напряжение (точнее э. д. с. взаимной индукции) во вторичной обмотке. Теперь несколько слов о количественных соотношениях.

Одна из главных характеристик трансформатора — это его коэффициент трансформации — цифра, показывающая, во сколько раз число витков во вторичной обмотке больше, чем в первичной. Предположим, что коэффициент трансформации равен единице, то есть обе обмотки одинаковы. В этом случае на вторичной обмотке наведется такое же напряжение, какое подводится к первичной, — подаем на вход трансформатора один вольт и на выходе также получаем один вольт. Совсем другое дело, если обмотки разные — тогда выходное напряжение не равно входному. Если коэффициент трансформации больше единицы (такой трансформатор называется повыша-

ющим), то напряжение на выходе больше, чем на входе. В понижающем трансформаторе, где коэффициент трансформации меньше единицы, все наоборот — выходное напряжение меньше входного.

Для того чтобы закончить с этим вопросом, рассмотрим два примера. Первичная обмотка содержит 200 витков, вторичная — 1000 и, следовательно, коэффициент трансформации 5. Подав на вход напряжение 10 в, мы получим на выходе 50 в, то есть в 5 раз больше. При коэффициенте трансформации 0,2, например, при соотношении витков 200 и 40 выходное напряжение будет в 5 раз меньше входного, то есть 1 в. Необходимо отметить, что трансформатор — машина обратимая. Повышающий трансформатор становится понижающим, а понижающий повышающим, если подвести напряжение ко вторичной обмотке, а снимать его с первичной.

В приемнике имеются как минимум два трансформатора, и тот из них, который используется в блоке питания, называется сетевым, или силовым. В нем, конечно, есть первичная обмотка, к которой подводится напряжение из сети переменного тока. Вторичных обмоток в силовом трансформаторе несколько, и среди них — понижающая обмотка, которая дает напряжение 6,3 в для питания накальных цепей. Прежде чем говорить об обмотках силового трансформатора, несколько слов о его устройстве.

Высокочастотный трансформатор, с которым мы встретились во входной цепи приемника, представлял собой довольно простую конструкцию — две обычные катушки, расположенные на сравнительно небольшом расстоянии одна от другой. На низких частотах такая система уже работать не сможет. Для того чтобы это стало понятным, вам придется задуматься над вопросом, сколько витков должно быть в той или иной обмотке трансформатора? Представьте себе трансформатор, повышающий напряжение от 1 в, скажем, до 5 в. Ведь построить такой трансформатор можно с самым различным числом витков в обмотках, например 1 и 5, 200 и 1000, 50 и 250 и т. д. Как видите, коэффициент трансформации во всех случаях одинаков, а число витков разное. Так из чего же все-таки исходить при выборе числа витков?

Казалось бы, над таким вопросом и думать нечего — витков надо брать как можно меньше, например 1 и 5. Во-первых, это даст огромную экономию дорогого медного провода, во-вторых, уменьшит габариты трансформатора, в-третьих, упростит его конструкцию, в-четвертых... Но, пожалуй, не стоит перечислять достоинства, делить шкуру медведя, который еще не убит.

Всю энергию, которая подводится к первичной обмотке, можно разделить на две части. Часть энергии терлется в самой обмотке, затрачивается на преодоление ее сопротивления.

Другая часть энергии создает магнитное поле и с его помощью переключивает во вторичную обмотку. Здесь-то и находится главный потребитель, например нити накала ламп. Для того, чтобы во вторичную обмотку передавалось как можно больше энергии, а в первичной терялось как можно меньше, нужно, чтобы обычное, или, как его еще называют, активное сопротивление обмотки было небольшим по сравнению с ее индуктивным сопротивлением, которое характеризует отбор энергии на создание магнитного поля. Знакомясь с фильтрами, мы отмечали, что индуктивное сопротивление катушки зависит от ее индуктивности и частоты переменного тока. Чем больше индуктивность и чем больше частота, тем больше индуктивное сопротивление катушки.

Естественно, что для получения большого индуктивного сопротивления обмоток трансформатора на низкой частоте нужно делать эти обмотки с очень большим числом витков. Если бы мы захотели строить силовой трансформатор по образцу высокочастотного, то, наверное, должны были бы делать обмотки с десятками, а может быть, и с сотнями тысяч витков. К счастью, есть другой способ повысить индуктивность — применить уже знакомый нам стальной сердечник.

«ГРУЗОВИКИ» И «ЛЕГКОВЫЕ»

Большая семья автомобилей далеко не однородна. Здесь вы найдете и 25-тонный самосвал-гигант, и вездеход с передними ведущими колесами, и маленький юркий «Запорожец». Однако какую бы систему классификации автомобилей мы ни придумывали, придется обязательно выделить две основные группы — грузовики и легковые машины. Точно так же в огромном семействе полупроводниковых вентилях выделяются две похожие и в то же время отличные друг от друга группы точечных и плоскостных диодов.

Плоскостные диоды — это своего рода грузовики — они предназначены в основном для выпрямителей, пропускают довольно большой ток и выдерживают значительные обратные напряжения. Подобная нагрузка определила и конструкцию этих приборов — в них анод и катод, то есть соответственно зона *p* и зона *n*, имеют

большую поверхность. Вот почему такие диоды называются плоскостными. В то же время *pn*-переход плоскостного диода — это не что иное, как конденсатор, и с весьма внушительной емкостью — десятки и сотни *пф*. Если включить плоскостной диод в высокочастотную цепь, например в цепь детектора, он практически не будет выполнять своей основной обязанности — выпрямлять переменный ток. Не обращая внимания на диод-зентиль, сигнал легко пройдет через диод-конденсатор.

В высокочастотных выпрямителях и детекторах работают легковые, точечные полупроводниковые диоды. Основа такого диода маленький кристалл германия или кремния, к которому примыкает тонкая металлическая игла. Возле нее и образуется «миниатюрный» *pn*-переход с очень небольшой емкостью.

Вот некоторые данные некоторых плоскостных и точечных диодов.

Сердечник трансформатора собирается из стальных пластин, похожих на букву Ш (рис. 42, а, в). К каждой такой пластине примыкает стальная полоска. В результате после сборки получается стальной пластинчатый брус с двумя большими окнами. На средний стержень одевается каркас с обмотками, расположенными одна поверх другой (рис. 42, б). Кстати, ширина среднего стержня в миллиметрах входит в название типа пластин. Ш-32, например, означает, что пластины имеют Ш-образную форму и ширина среднего стержня равна 32 мм. Главной же характеристикой сердечника является его сечение, точнее сечение среднего стержня, которое, естественно, можно получить, умножив его ширину на толщину набора пластин. Сечение сердечника, его размеры, а значит и габариты всего трансформатора, зависят от аппетитов потребителей. Чем больше мощность, потребляемая от трансформатора, тем больше должен быть его сердечник.

Раз уж мы заговорили о мощности, то придется отметить очевидный факт: если сложить все мощности, потребляемые во всех вторичных обмотках, то как раз получится та мощность, которую сам трансформатор потребляет от сети и на которую должна быть рассчитана первичная обмотка. Теперь, по-ви-

Плоскостные			Точечные		
название	выпрямлен- ный ток (ма)	обратное напряжение (в)	название	выпрямлен- ный ток (ма)	обратное напряжение (в)
ДГ-Ц24	300	200	ДГ-Ц1	16	50
ДГ-Ц25	100	300	ДГ-Ц4	16	75
ДГ-Ц26	100	350	ДГ-Ц7	16	100
ДГ-Ц27	100	400	ДГ-Ц8	25	125
Д7Г	300	200	Д10А	5	17
Д7Д	300	300	Д9Д	30	30
Д7Е	300	350	Д2Е	16	125
Д7Ж	300	400	Д101	50	100

По принятой в настоящее время новой системе обозначения, название всех типов полупроводниковых диодов начинается с буквы Д — диод. Далее следует цифра, в какой-то степени отражающая особенности диода:

от 9 до 99 — точечные германиевые,

от 101 до 199 — точечные кремниевые,

от 201 до 299 — плоскостные кремниевые,

от 301 до 399 — плоскостные германиевые,

от 401 до 499 и от 601 до 699 — специальные типы точечных диодов.

Кроме того, имеются еще и диоды особого назначения, своего рода пожарные или санитарные автомобили. Это диоды — стабилизаторы напряжения, диоды — переменные конденсаторы и, наконец, туннельные диоды, которые сами усиливают и генерируют электрические колебания.

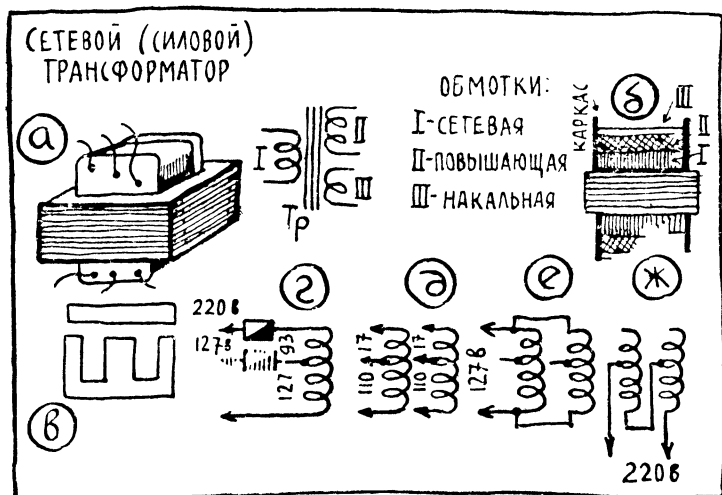


Рис. 42.

димому, нужно пояснить, что это значит: рассчитать обмотку на какую-либо мощность. Мощность — это произведение тока на напряжение (рис. 10). Если трансформатор потребляет от сети мощность 60 *вт* при напряжении 120 *в*, то в первичной обмотке протекает ток 0,5 *а*. Вот эта величина и является исходной для расчета обмотки, точнее для выбора провода.

Ток, проходя по проводнику, нагревает его. Чтобы проводник не накалился, как спираль электроплитки, и не сгорел, как плавкий предохранитель, он должен хорошо отдавать тепло, иметь достаточно большую поверхность охлаждения. Это одна из причин, по которой диаметр провода для той или иной обмотки трансформатора выбирается, исходя из величины тока — чем больше ток, тем толще должен быть провод. Так, например, накальная обмотка (так для краткости называют обмотку накала ламп) всегда выполняется довольно толстым проводом, диаметром 1—2 *мм*. Кстати, диаметр провода указан в его названии. Так, провод ПЭ 0,14 имеет диаметр 0,14 *мм*, ПЭ 1,2 — диаметр 1,2 *мм* и т. д. Буквы ПЭ означают «провод эмалированный». Часто применяются разновидности этого провода — ПЭЛ, лакостойкий, и ПЭВ, покрытый винифлексной эмалью. В большинстве случаев эти провода взаимозаменяемые.

В силовом трансформаторе должно быть как минимум две сетевых обмотки, точнее две секции сетевой обмотки, одна, рассчитанная на напряжение 127 *в*, другая — на 220 *в*. В первой из них число витков меньше, чем во второй, а диаметр провода больше. Это объясняется очень просто. Когда мы переключаем приемник с 220 *в* на 127 *в*, то, чтобы не уменьши-

лись выходные напряжения, необходимо примерно в 1,7 раза увеличить коэффициент трансформации ($220 : 127 = 1,7$). Сделать это можно двумя путями — либо увеличить в 1,7 раза число витков всех вторичных обмоток, либо уменьшить в 1,7 раза число витков первичной обмотки. Поскольку вторичных обмоток несколько, а первичная одна, всегда производят необходимые переключения только в сетевой обмотке. Секция, рассчитанная на 127 в, естественно, выполнена более толстым проводом — мощность, потребляемая приемником, всегда одинакова, а значит при меньшем напряжении потребляется больший ток.

Если вы посмотрите на схемы приемников, то увидите, что специальной секции для сети 220 в не делают. К обмотке, рассчитанной на 127 в, просто добавляется секция, рассчитанная на 93 в. В итоге получается необходимая обмотка для сети 220 в (рис. 42, г). В некоторых приемниках можно встретить «хитрую» систему переключения сетевых обмоток (рис. 42, д). Хитрость состоит в том, что имеются две намотанные сравнительно тонким проводом секции на 127 в каждая, которые включаются параллельно, что равносильно применению провода с удвоенной площадью поперечного сечения (рис. 42, е). У каждой из секций есть участки, рассчитанные на 110 в, которые при напряжении 220 в включаются последовательно (рис. 42, ж). Таким образом удастся обойтись без отдельной секции на 93 в, сэкономить провод, уменьшить габариты трансформатора.

Заканчивая наш короткий рассказ о силовом трансформаторе, хочется отметить, что хотя он и не неженка — работает при температуре до 60—70 градусов, — но все же боится перегрева и перегрузки. Перегрев, а он как раз и возникает из-за перегрузок, может привести к разрушению тонкой эмаливой изоляции обмоточных проводов и к короткому замыканию между соседними витками или соседними слоями провода. А междувитковое замыкание означает дальнейший сильный нагрев трансформатора (вплоть до температуры накаливания) и даже полный выход его из строя.

Опасность, связанная с междувитковым замыканием, станет вам понятной, если попытаться представить себе последствия короткого замыкания какой-либо обмотки. В этом случае по обмотке идет очень большой ток и она потребляет чрезмерно большую мощность. Из-за этого возрастает общая потребляемая мощность, а значит и ток в первичной обмотке. То же самое произойдет, если случайно замкнется часть какой-либо обмотки или даже два соседних витка. Из-за недопустимо больших токов обмотки сильно нагреваются и трансформатор горит.

Между прочим, от всех этих неприятностей прекрасно предохраняет маленький дешевый предохранитель, если, конечно,

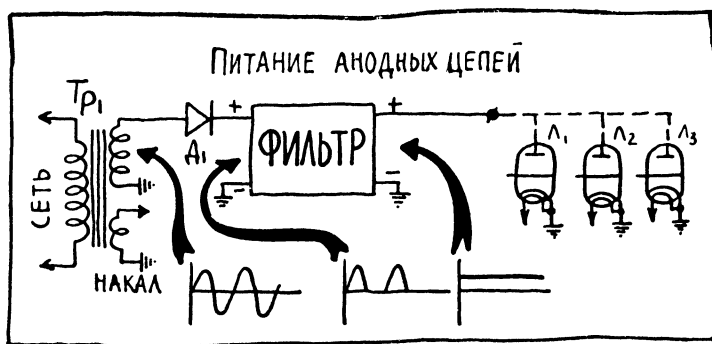


Рис. 43.

его не заменили толстой проволокой — «жучком» или даже другим предохранителем, похожим по виду, но рассчитанным на значительно больший ток. При любой неисправности в цепях любой из вторичных обмоток трансформатора, в результате которой возрастает ток, в этой обмотке обязательно увеличится и ток в сетевой обмотке, куда включен предохранитель. При этом предохранитель перегреется, мгновенно сгорит и разорвет первичную цепь трансформатора, то есть выключит приемник из сети. Кстати, если в вашем приемнике непрерывно горят предохранители, значит в нем что-то неисправно, где-то что-то замкнуто, от сети потребляется чрезмерно большая мощность, из-за которой и возрастает ток в первичной обмотке.

Из всех потребителей силового трансформатора мы пока знаем лишь нити накала ламп, которые параллельно подключаются к шестивольтовой накальной обмотке. Один из выводов этой обмотки заземляется, то есть соединяется с металлическим корпусом (шасси) приемника. Заземляется также и один вывод нити накала каждой лампы. Таким образом шасси играет роль одного из проводов, соединяющих накальную обмотку с накальными цепями ламп.

Для того чтобы излишне не перегружать чертеж линиями, на схемах накальные провода обычно не рисуют. Незаземленный провод накальной обмотки возле самого трансформатора заканчивают стрелкой (иногда возле нее стоит буква) и такой же стрелкой заканчивают вывод самой нити накала (и здесь тоже может стоять буква, причем та же, что и возле накальной обмотки). Если вам очень захочется, то соедините на схеме эти стрелки и получится цепь питания накала без всяких упрощений. К накальной обмотке подключают и лампочки освещения шкалы, также рассчитанные на 6,3 в.

Второй потребитель энергии — анодные цепи ламп. На аноды, как мы уже говорили, нужно подать сравнительно высокое

напряжение — 150—250 в. Для этой цели в силовом трансформаторе есть специальная повышающая обмотка. Правда, при работе от сети 220 в и небольшом анодном напряжении эта обмотка в некоторых приемниках не только не повышает, но даже несколько понижает напряжение. Однако из-за таких мелочей мы не будем менять уже давно установившегося названия, тем более, что повышающая обмотка по сравнению с другими вторичными обмотками дает сравнительно высокое напряжение. Иногда его для краткости просто называют высоким. Так и говорят: «куда-то пропало высокое», или «что-то слишком малó высокое», или «вот идет цепь высокого».

Анодные цепи ламп потребляют сравнительно небольшой ток, обычно 40—100 ма, и повышающая обмотка выполняется довольно тонким проводом — 0,14—0,25 мм. Нужно отметить, что некоторая часть высокого напряжения теряется на самой повышающей обмотке, на ее собственном активном сопротивлении. Об этом нужно помнить при замене ламп. Так, например, если установить в приемник выходную лампу, у которой анодный ток значительно больше, чем у «настоящей» (радиомастера любят говорить «родной») лампы, то мы обнаружим не только некоторый перегрев трансформатора, но и заметное снижение анодного напряжения.

Мы ведем разговор о высоком напряжении, которое нужно подать на аноды и экранные сетки ламп, и забыли отметить самое главное — то, что дает вторичная повышающая обмотка трансформатора, нам совсем не подходит. Ведь на обмотке действует переменное напряжение, а на аноды ламп нужно подать постоянное.

Еще совсем недавно подобная проблема показалась бы нам очень сложной. Сейчас же, по-видимому, каждый из вас сумеет наметить довольно простой путь ее решения. Во-первых, с помощью вентили нужно превратить переменное напряжение в пульсирующее, а затем с помощью фильтров отсеять все переменные составляющие этого напряжения и оставить

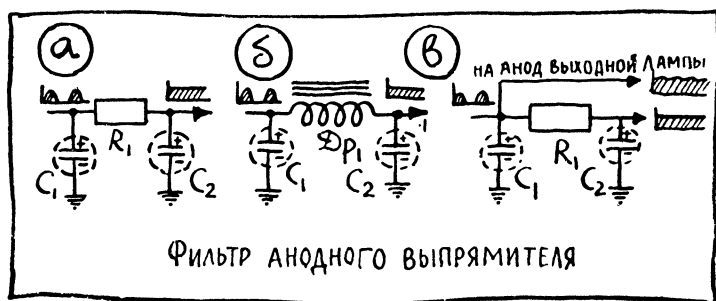


Рис. 44.

только постоянную. Для выполнения этих двух операций в радиоприемнике появляется выпрямитель анодного питания с фильтром (рис. 43). Анодный выпрямитель по своей схеме очень напоминает детектор. Только там мы постоянную составляющую отбрасывали — она была нам просто не нужна.

Так же как и в других узлах приемника, в выпрямителе роль одного из монтажных проводов играет металлическое шасси, причем в этом случае шасси получает свою самую интересную и, конечно, самую сложную роль. К нему присоединяется нижний (по схеме) вывод повышающей обмотки трансформатора, и таким образом «минус» пульсирующего, а значит и постоянного напряжения, оказывается заземленным. В соответствии с этим заземляются и соединяются с «минусом» через шасси с минусом катоды всех ламп. Что же касается «плюса», то он снимается с вентиля и подводится к анодам ламп, разумеется, через фильтр, пропускающий только постоянную составляющую.

Знакомство с анодным выпрямителем мы начнем с конца — с фильтров, поскольку о них у нас уже было много разговоров, и сейчас остается сделать несколько конкретных замечаний об особенностях фильтра анодного выпрямителя. Прежде всего заметим, что этот фильтр почти всегда, можно даже сказать всегда, собирают по П-образной схеме (рис. 44, а). Основная часть переменной составляющей пульсирующего тока замыкается через конденсатор C_1 , так как он пропускает переменную составляющую намного легче, чем сопротивление R_1 (рис. 44, а). Но если какая-то часть переменной составляющей и пройдет через R_1 , то она будет тут же отведена от ламп через второй конденсатор фильтра C_2 . В то же время

ПРОЩАЙ, ЛАМПА!

Нет, мы не оповещаем вас о безоговорочной капитуляции электронной лампы. Она чувствует себя пока еще достаточно уверенно. Но все-таки все больше разных обязанностей приходится ей уступать молодому и энергичному младенцу — полупроводниковому прибору. Быстрее всего сдает свои позиции кенотрон — специальный диод для выпрямителя, который теперь уже очень редко приглашают на работу. Теперь в любом приемнике его можно заменить германиевым или кремниевым плоскостным диодом. Как это сделать? Лучше всего соорудить пе-

реходную колодку, к примеру, из цоколя сгоревшей лампы.

Во всех случаях можно использовать диоды Д7Е, Д7Ж,



ДГ-Ц26, ДГ-Ц27. Все сопротивления, естественно, должны быть одинаковыми, по 30—100 ком. Кто посмелее, может собрать диодный выпрямитель прямо на ламповой панельке кенотрона, разумеется, с ее обратной стороны, то есть со стороны монтажа.

для постоянной составляющей путь через конденсаторы закрыт, и она может пройти только по пути — вентиль — сопротивление фильтра — нагрузка (анодные цепи, то есть участки анод — катод всех ламп) — шасси приемника — повышающая обмотка трансформатора — вентиль. Из всех элементов этой последовательной цепи наибольшим сопротивлением обладает нагрузка, и поэтому именно на ней действует основная часть выпрямленного и отфильтрованного напряжения. Это и есть постоянное анодное напряжение, необходимое для питания анодных цепей.

С точки зрения хорошей фильтрации сопротивление R_1 должно быть как можно больше — именно оно закрывает переменной составляющей путь к анодам. Но в то же время по этому сопротивлению проходит постоянный ток и на нем теряется часть готовой продукции — часть выпрямленного напряжения. Поэтому R_1 обычно не превышает нескольких килоом. Как следует из самой идеи фильтра, емкостное сопротивление конденсаторов должно быть во много раз меньше, чем R_1 , то есть должно составлять несколько сотен, еще лучше несколько десятков ом. Частота пульсаций выпрямленного тока, а значит, частота его переменной составляющей всего 50 гц. Для того чтобы получить маленькое емкостное сопротивление при такой низкой частоте, нужны конденсаторы очень большой емкости (рис. 21).

Большой емкостью при сравнительно небольших габаритах обладают электролитические конденсаторы. В них накопление электрических зарядов на обкладках осуществляется не только обычным способом (стр. 65), но еще и за счет поляризации молекул жидкого электролита, который находится между обкладками. Этот процесс возможен только в том случае, когда к конденсатору приложено довольно большое постоянное напряжение и только под действием этого напряжения электролитический конденсатор приобретает свою номинальную емкость. Что касается выпрямителя, то это едва ли не самое подходящее место для включения электролитических конденсаторов, так как здесь к ним всегда приложено постоянное анодное напряжение.

Кстати, постоянное напряжение можно подводить к электролитическому конденсатору только в определенной полярности — к алюминиевому корпусу «—», к изолированному контактному лепестку «+». В соответствии с этим корпус конденсатора почти всегда устанавливается непосредственно на шасси приемника, куда, как уже было отмечено, подключен и минус анодного выпрямителя. Правда, в ряде случаев корпус конденсатора необходимо изолировать от шасси, так как между ними включается небольшое сопротивление (рис. 48). На корпусе конденсатора всегда указана его емкость и рабочее напряжение. Эти величины — руководство к действию при

замене конденсатора. Что касается емкости, уменьшать ее крайне нежелательно, это ухудшит фильтрацию и повысит уровень фона. Увеличивать емкость, во всяком случае в 2—5 раз, можно — маслом каши не испортишь. А вот чего ни в коем случае нельзя делать, так это ставить конденсатор с меньшим рабочим напряжением, чем было раньше.

Довольно часто, особенно в многоламповых приемниках, где по сопротивлению фильтра идет большой ток (чем больше ламп, тем больше потребляемый ими ток) и на нем теряется большая часть выпрямленного напряжения, вместо этого сопротивления включают дроссель — катушку с большим числом витков и пластинчатым стальным сердечником (рис. 44, б). Такой дроссель оказывает большое сопротивление переменным составляющим пульсирующего тока и сравнительно легко пропускает его постоянную составляющую. Активное сопротивление дросселя обычно не превышает несколько сот ом.

Чтобы разгрузить сопротивление фильтра, в некоторых простых приемниках его освобождают от анодного тока выходной лампы и напряжение на ее анод подают непосредственно с первого конденсатора фильтра (рис. 44, в). К сожалению, с другими лампами проделать подобный фокус нельзя — это приведет к резкому усилению фона.

На этом мы, пожалуй, закончим рассказ о фильтрах выпрямителя и вернемся к его главному элементу — вентилю.

В качестве вентиля в анодном выпрямителе можно применить полупроводниковый диод, но уже не точечный, как в детекторе, а плоскостной. Плоскостные диоды могут выпрямлять сравнительно большой ток и выдерживают большое обратное напряжение. Чтобы стало понятно, что это за обратное напряжение и почему именно оно опасно для вентиля, попробуем представить себе этот вентиль в виде сопротивления. Это, конечно, не обычное сопротивление (иначе, зачем бы он нужен был, диод), а, образно говоря, сопротивление-хамелеон. Если приложить к диоду напряжение в прямом направлении, то есть так, чтобы диод пропускал ток, то диод этот ведет себя как очень небольшое сопротивление — единицы и десятки ом. Когда же к диоду приложено напряжение в обратной полярности, то он тока почти не пропускает. В этом случае диод эквивалентен очень большому сопротивлению, в сотни и тысячи килоом.

Если пойти на сильное упрощение схемы выпрямителя, то его можно рассматривать, как делитель напряжения, состоящий из двух частей — вентиля и нагрузки, то есть из диода и анодных цепей ламп. Напряжение на этот делитель поступает с повышающей обмотки трансформатора и распределяется по участкам цепи пропорционально их сопротивлению. В тот момент, когда диод пропускает ток, сопротивление его

мало и почти все напряжение падает на нагрузке. Во время следующего, обратного полупериода большая часть напряжения приложена к диоду, так как в это время он представляет собой участок делителя с очень большим сопротивлением. Вот почему диод, да и не только диод, а вообще любой вентиль, больше всего боится обратного напряжения и должен быть рассчитан именно на это напряжение, причем с большим, обычно двухкратным, а иногда и трехкратным запасом.

На рисунке 45, а показана схема выпрямителя, где работают полупроводниковые диоды. Два диода включают последовательно тогда, когда один может не выдержать большого обратного напряжения.

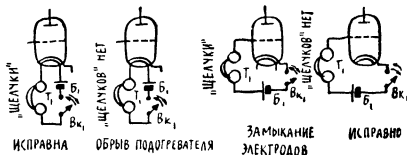
У вас, по-видимому, вызывают удивление сопротивления R_1 и R_2 , шунтирующие каждый из диодов. Действительно, эти сопротивления заметно снижают обратное сопротивление диода, ухудшают его выпрямительные свойства. И несмотря на это, шунтирующие сопротивления совершенно необходимы при последовательном включении полупроводниковых диодов. Дело в том, что отдельные экземпляры диодов не одинаковы, у них существует некоторый разброс параметров, в частности, разброс величины обратных сопротивлений. Это значит, что во время обратного полупериода напряжение распределяется на диодах не поровну — большая часть обратного напряже-

ПЕНСИЯ ПО СТАРОСТИ

Электронная лампа может «заболеть» и потерять трудоспособность в любом возрасте, даже через несколько часов после установки в приемник. Среди «юношеских» болезней чаще всего встречаются перегорание нити накала и короткое замыкание между электродами внутри баллона. В обоих случаях диагноз можно поставить с помощью любого простейшего прибора, который показывает, замкнута цепь или разомкнута. Индикатором может служить, например, головной телефон с батареей. В момент замыкания цепи в телефоне возникают слышимые «щелчки».

Но обычно лампа живет очень долго и «выходит на пенсию», даже не утратив полностью своей работоспособности. Просто с течением времени уменьшается ток эмиссии катода из-за изменений в его активном слое, и в результате ухудшаются основные параметры

ламп. У различных ламп «старость» проявляется по-разному. У выходных заметно снижается мощность, высокочастотные пентоды теряют крутизну, из-за чего падает чувствительность приемника, а преобразовательные лампы по той же причине вообще перестают работать на некоторых (как



правилу, длинноволновых) участках того или иного диапазона — из-за малой крутизны в гетеродине не возникают колебания.

Для сетевых ламп обычно гарантируется срок службы 500 часов, для батарейных — 1000. Однако опыт показывает, что большинство ламп не торопится «на пенсию» — они работают без заметного ухудшения параметров несколько тысяч часов.

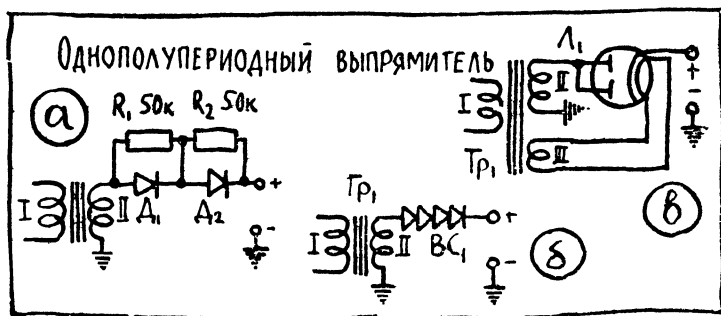


Рис. 45.

ния будет приложена к диоду с большим обратным сопротивлением. Пример: диоды, рассчитанные на 300 в каждый, включены последовательно в цепь, где обратное напряжение не превышает 500 в. Казалось бы, все в порядке и даже есть небольшой запас электрической прочности — 100 в. Но представьте себе, что обратное сопротивление одного диода 100 ком, а другого — 400 ком. В этом случае на первом диоде упадет не половина, а лишь пятая часть обратного напряжения, то есть 100 в, и все остальное напряжение — 400 в — достанется второму диоду. Естественно, что бедняга не выдержит такой страшной перегрузки и немедленно выйдет из строя. Произойдет пробой *pn*-перехода, и диод превратится в обычный проводник так же, как и пробитый конденсатор. Немедленно вслед за этим будет пробит и второй диод — оставшись в одиночестве, он должен будет принять на себя все 500 в обратного напряжения, а это ему, конечно, не по силам.

Вот от этих неприятностей и спасают шунтирующие сопротивления. Величина их должна быть в несколько раз меньше средней величины обратного сопротивления диода. Вспомните, что при параллельном соединении общее сопротивление примерно равно наименьшему (стр. 28). Поэтому, невзирая на разброс параметров, реальное сопротивление каждого диода теперь будет определяться шунтирующими сопротивлениями и примерно составлять 50 ком. А это означает, что обратное напряжение распределится между диодами поровну.

В анодном выпрямителе, кроме полупроводниковых диодов, можно встретить их дальних родственников — селеновые столбики (рис. 45, б). Их собирают из довольно большого количества выпрямляющих шайб, каждая из которых выдерживает обратное напряжение 20—30 в. Величина выпрямленного тока определяется диаметром шайбы. В последнее время селеновые столбики стали опрессовывать в пластмассу и вместо сложной ребристой конструкции они приобрели вид небольшой шоколадки.

Наконец, во многих приемниках, а также и в другой электронной аппаратуре, в анодном выпрямителе еще часто можно встретить старый добрый электровакуумный диод. Такой диод, предназначенный специально для выпрямления тока, называется кенотроном. Одна из схем его включения показана на рис. 45, в. Кенотрон совсем не пропускает тока в обратном направлении и поэтому обладает бесконечно большим обратным сопротивлением. В то же время он хорошо выдерживает довольно большие обратные напряжения. По этой причине кенотрон пока не уступает своей монополии на высоковольтные выпрямители. В частности, в телевизоре с помощью специальных кенотронов выпрямляют напряжение в несколько тысяч вольт.

Совершенно очевидно, что плюс выпрямленного напряжения снимается с катода кенотрона, то есть постоянное напряжение действует между его катодом и шасси приемника. Это значит, что нить накала должна питаться от отдельной обмотки, тщательно изолированной от шасси. Если питать нить накала кенотрона от общей накальной обмотки, один из выводов которой всегда заземлен (рис. 43), то между самим катодом («+А») и заземленным подогревателем («—А») будет действовать полное анодное напряжение и на участке катод—подогреватель в самой лампе может произойти пробой изоляции.

При разработке некоторых кенотронов, например 5Ц4С, конструкторы окончательно смирились с необходимостью питать нить накала от отдельной обмотки и один из выводов этой нити даже соединен с катодом внутри баллона. Некоторые же кенотроны, например 6Ц5С, все-таки приспособили для питания от общей накальной обмотки, и для этого повысили электрическую прочность изоляции между катодом и подогревателем. Эта изоляция выдерживает напряжение в несколько сот вольт.

У всякого, кто посмотрит на схему кенотронного выпрямителя, приведенную на рисунке 45, в, должен появиться закон-

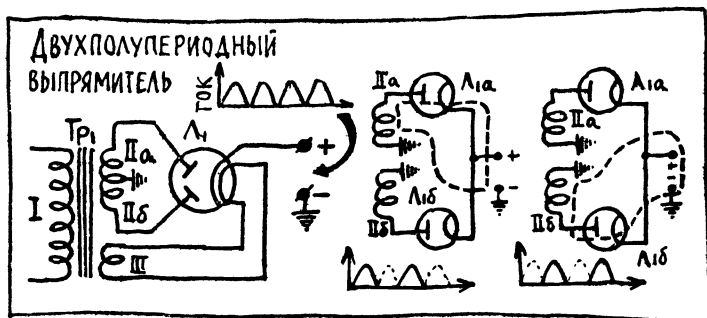


Рис. 46.

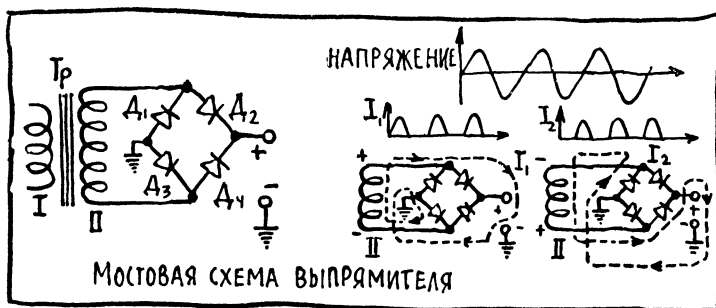


Рис. 47.

ный вопрос: зачем у лампы два анода, если они соединены между собой? Дело здесь в том, что двуханодный кенотрон сделан совсем не для той простой схемы, с которой мы только что познакомились. Он приспособлен для двухполупериодного выпрямителя, схема которого приведена на рис. 46. В отличие от нее схема, приведенная на рис. 45, *в*, называется однополупериодной.

Однополупериодный выпрямитель работает «через такт» — один полупериод ток идет на нагрузку, второй — пропадает бесполезно. А нельзя ли сделать так, чтобы оба полупериода участвовали в создании постоянного напряжения? Оказывается, можно. Для этого необходимо в силовом трансформаторе намотать две повышающие обмотки, включить в них два вентиля и определенным образом сложить их пульсирующие токи. Схема такого сложения оказывается весьма простой (рис. 46). Кенотроны L_{1a} и L_{1b} работают поочередно, а включены они так, что каждый создает в нагрузке ток одного и того же направления. Поскольку и в той и в другой повышающей обмотке один вывод заземлен, их выполняют в виде одной обмотки с удвоенным числом витков и одним общим выводом — средней точкой. Катод у обеих половинок двуханодного кенотрона общий, так как оба катода все равно нужно было бы присоединить к одной точке — к нагрузке.

Двухполупериодный выпрямитель имеет серьезные достоинства. Во-первых, он дает большее напряжение и больший ток по сравнению с однополупериодным. Во-вторых, при двухполупериодном выпрямлении в 2 раза возрастает частота пульсаций. Теперь уже не 50, а 100 импульсов тока в секунду проходит через выпрямитель. При этом, естественно, возрастает и частота переменной составляющей, а значит, облегчаются условия работы фильтра. Во всяком случае, конденсаторы для частоты 100 гц обладают емкостным сопротивлением в 2 раза меньшим, чем для частоты 50 гц. И несмотря на это, часто приходится отказываться от двухполупериодной схемы — уж

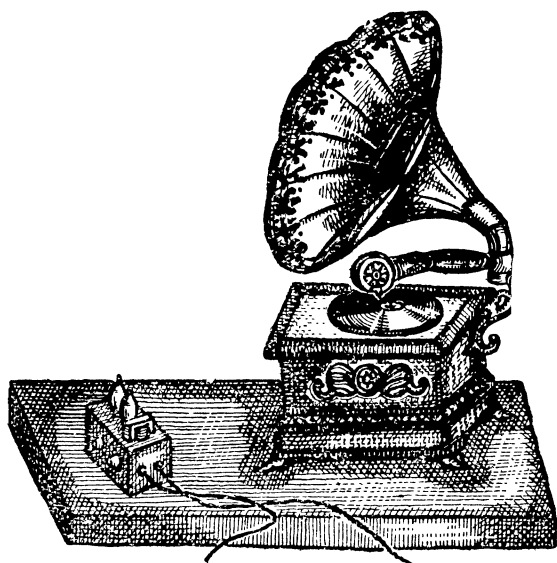
очень усложняет и удорожает трансформатор удвоенная повышающая обмотка.

В последнее время в приемниках все чаще применяется двухполупериодный выпрямитель с одинарной обмоткой. Его собирают по так называемой мостовой (иногда говорят мостиковой) схеме, где обязательно должно работать четыре вентиля (рис. 47). Рассказывать об этой схеме словами, пожалуй, не стоит — посмотрите на нее внимательно, и вы убедитесь, что благодаря особому включению вентилях ток во время обоих полупериодов идет через нагрузку в одну и ту же сторону. Кенотроны в такой схеме применять нецелесообразно — понадобится две, а то и три лампы вместо одной. В мостовой схеме применяются полупроводниковые диоды и особенно часто селеновые вентили, заранее собранные в виде моста и опрессованные в пластмассу.

В заключение хочется остановиться на одном дополнении к анодному выпрямителю, которое в общем-то не имеет к нему никакого отношения. Речь идет о включении небольшого сопротивления в цепь общего минуса (рис. 48, а). Теперь общий анодный ток всех ламп для того, чтобы попасть на минус выпрямителя, то есть на нижний по схеме вывод повышающей обмотки, должен обязательно пройти через сопротивление R_2 . Это сопротивление становится источником небольшого отрицательного напряжения, «плюс» которого заземлен, а «минус» может быть подан на сетки ламп в качестве постоянного отрицательного смещения. Для того чтобы уменьшить пульсации на сопротивлении R_2 , по нему не пропускают переменную составляющую — она замыкается через конденсатор анодного фильтра C_2 . Для этого как раз и приходится корпус этого конденсатора изолировать от шасси. Кроме того, для уменьшения пульсаций напряжение на сетки подают через дополнительный низкочастотный фильтр R_3C_3 . Включив вместо R_2 делитель из нескольких сопротивлений, можно получить

несколько напряжений, различных по величине и отрицательных относительно шасси (рис. 48, б).

Итак, мы с вами можем уже предложить электронной лампе тот «обед», который требуется ей для нормальной работы, знаем, как приготовить для нее все «блюда» — и анодное напряжение, и накальное, и даже отрицательное смещение на сетку. Сейчас вы убедитесь в том, что лампа не напрасно «ест хлеб», что, получив то, что требовалось, электронная лампа отлично справляется с разнообразными сложными заданиями, которые возлагаются на нее в радиоприемнике.



ЭЛЕКТРОНИКА И ГРАММОФОН

Старинная арабская сказка рассказывает нам о волшебной лампе, с помощью которой можно в мгновение ока возводить дворцы, разрушать горы, переносить людей с места на место и совершать много других больших и малых чудес. Но волшебная сила лампы открывается не сразу, хозяин светильника — Алладин узнает о ней совсем случайно. Чтоб нам не оказаться в подобном положении, давайте сразу же выясним, для чего нам нужны электронные лампы в приемнике, где можно использовать их «волшебную силу», и как это сделать.

Напряжение, которое создает сигнал принимаемой станции на входном контуре, очень мало — обычно оно составляет несколько десятков или несколько сотен микровольт и лишь при приеме мощных и близко расположенных станций достигает десятков и сотен милливольт. В то же время диодный детектор работает без искажений, если на него подать высокочастотное напряжение около вольта, а еще лучше — несколько вольт. Таким образом, первая задача, которая стоит перед электронными лампами, сводится к тому, чтобы усилить высокочастотный сигнал перед его поступлением на детектор.

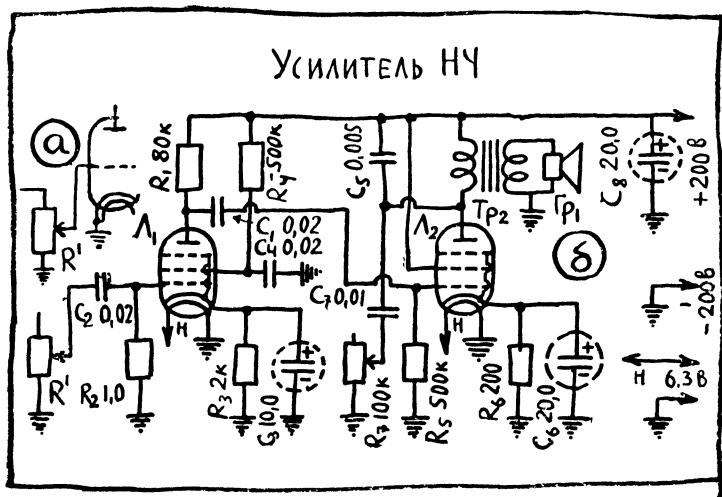


Рис. 49.

Если предположить, что первая задача решена, то на выходе детектора мы получим напряжение низкой частоты около вольт, а мощность низкочастотного сигнала после детектирования будет измеряться миллионными долями ватта. (Это, конечно, очень мало, хотя и в миллионы и миллиарды раз больше, чем поступает на вход приемника). Если такой слабый сигнал подвести прямо к громкоговорителю, то его диффузор практически даже не сдвинется с места — громкоговоритель работает при мощностях сигнала порядка ватта. Отсюда и следует вторая задача, которую призваны решить электронные лампы в приемнике, — они должны усилить низкочастотный сигнал, полученный в результате детектирования, резко повысить его мощность, с тем чтобы досыта «накормить» громкоговоритель. Одним словом, в приемнике нужно иметь два усилительных тракта — высокочастотный (ВЧ) и низкочастотный (НЧ).

Попробуем сразу взять быка за рога — попытаемся разобрать типичную практическую схему усилителя НЧ. Подобную схему (рис. 49, б) можно встретить в подавляющем большинстве советских и зарубежных ламповых приемников.

Прежде всего несколько слов об общих принципах построения усилителя НЧ. Мы уже говорили (стр. 127), что необходимую для громкоговорителя мощность может дать специальная выходная лампа — лучевой тетрод или пентод. Но для того, чтобы управлять током выходной лампы, на ее сетку нужно подать сравнительно большое напряжение НЧ — обычно 5—15 в. Детектор такого напряжения обеспечить не может, и поэтому необходим еще один каскад — усилитель напряже-

ния, или, как его еще называют, предварительный усилитель. На его сетку с детектора подается слабый низкочастотный сигнал, а на выходе получается усиленное напряжение, которое в свою очередь подается на сетку выходной лампы. Теперь посмотрим, как эти общие принципы воплощены в конкретной схеме.

Выходной каскад собран на лампе L_2 . В ее катодную цепь включено сопротивление R_6 , на котором суммарный анодно-экранный ток создает напряжение смещения (рис. 39, б). «Плюс» этого напряжения на катоде лампы, а «минус» — на корпусе. К корпусу через сопротивление утечки R_5 подключена управляющая сетка и таким образом на ней оказывается отрицательное напряжение относительно катода.

Главная особенность выходного каскада состоит в том, что нагрузка (громкоговоритель) включена в анодную цепь не непосредственно, а через выходной трансформатор Tr_2 . Связано это вот с чем. Сопротивление звуковой катушки громкоговорителя очень мало — оно не превышает нескольких ом. В то же время, чтобы лампа отдавала значительную мощность при минимальных искажениях, в анодную цепь этой лампы нужно включить довольно большое сопротивление нагрузки, обычно 5—10 ком. Только при таком сопротивлении на нагрузке действует достаточно большое низкочастотное напряжение — 100—200 в, которое так же, как и ток (рис. 10), участвует в создании выходной мощности. Назначение выходного трансформатора в том и состоит, что он с помощью маленького сопротивления звуковой катушки создает в анодной цепи достаточно большое сопротивление нагрузки.

Если, пользуясь формулой закона Ома (рис. 5), вы захотите подсчитать сопротивление какой-нибудь цепи, то нужно будет разделить напряжение на ток. Даже без формул, на основании простой логики можно прийти к выводу — чем больше напряжение и чем меньше ток, тем больше сопротивление цепи. Выходной трансформатор понижающий — число витков вторичной обмотки во много раз меньше, чем первичной. В соответствии с этим и напряжение на звуковой катушке во много раз меньше, а переменный ток во много раз больше, чем в анодной цепи лампы. Ну, а отсюда уже непосредственно следует, что включение в анодную цепь выходной лампы низкоомного (то есть с малым сопротивлением) громкоговорителя через понижающий трансформатор равносильно тому, что в анодную цепь лампы включено большое сопротивление. Величину этого сопротивления можно сделать оптимальной (см. параметры ламп), подбирая коэффициент трансформации выходного трансформатора. Обычно его первичная обмотка содержит 2000—3000 витков тонкого провода (ПЭ 0,12 — ПЭ 0,25), а вторичная — несколько десятков витков

более толстого провода (ПЭ 0,5 — ПЭ 0,8). Конденсатор C_5 замыкает первичную обмотку накоротко для сверхзвуковой частоты и предохраняет усилитель от самовозбуждения (стр. 121).

Постоянное напряжение подается на анод лампы через первичную обмотку — один ее конец подключен к аноду, а второй — к «плюсу». Напряжение на экранную сетку подается непосредственно с «плюса» без гасящего сопротивления, так как для выходных ламп это напряжение должно быть примерно равно анодному. Переменные составляющие анодного и экранного токов замыкаются на «землю», а оттуда на катод через конденсатор C_8 фильтра выпрямителя.

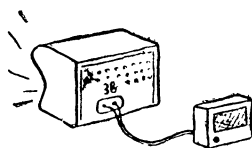
Наконец, последний элемент схемы выходного каскада — цепочка R_7C_7 . Это простейший регулятор тембра, с помощью которого можно «завалить» частотную характеристику в области высших звуковых частот. При этом есть возможность в какой-то степени ослабить некоторые виды помех — трески и шумы, хотя одновременно ухудшается и качество звучания. Работает регулятор тембра так. Когда движок сопротивления R_7 находится в крайнем нижнем положении, анод лампы L_2 замкнут на «землю» через конденсатор C_7 , емкость которого подобрана с таким расчетом, чтобы конденсатор хорошо пропускал высшие звуковые частоты и поэтому как бы срезал их. Для средних и особенно для низших частот емкостное сопротивление конденсатора велико, и он почти не влияет на эти составляющие. Перемещая движок сопротивления вверх (по схеме), мы увеличиваем общее сопротивление цепи, влияние конденсатора уменьшается и частотная характеристика выравнивается.

Напряжение низкой частоты, то есть усиливаемый сигнал, подается на сетку выходной лампы с анодной нагрузки R_1 уси-

ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ — МИКРОФОН

Динамический микрофон и громкоговоритель могут при известных условиях заменять друг друга, и это хорошо иллюстрируется довольно простым опытом. Подключите к гнездам звукопередатчика обычный трансляционный динамик (разумеется, с выходным трансформатором) и говорите в него так же, как и в обычный микрофон. Приемник довольно громко воспроизведет вашу речь. Только учтите, что приемник и динамик-микрофон должны находиться на значительном расстоя-

нии друг от друга, иначе возникнет сильная обратная связь и вся система превратится в электро-



акустический генератор, а проще говоря, «звонит».

Это простейшее переговорное устройство может оказаться весьма полезным, например, для связи между двумя соседними помещениями.

лителя напряжения (\mathcal{L}_1) через разделительный конденсатор C_1 . Этот конденсатор нужен для того, чтобы на сетку \mathcal{L}_2 с анода \mathcal{L}_1 не попало постоянное напряжение. Если конденсатор C_1 окажется пробитым, а такое повреждение иногда случается, то на сетке \mathcal{L}_2 появится большое положительное напряжение, анодный ток лампы резко возрастет, и она может выйти из строя.

Схема первого усилительного каскада уже знакома нам (рис. 39, а), знаком и способ питания экранной сетки через гасящее сопротивление (рис. 41, б). Сопротивление утечки R_2 и конденсатор C_2 — это элементы фильтра детектора (рис. 23). Как уже было отмечено (стр. 74), переменное сопротивление R''_1 является регулятором громкости. С помощью R''_1 мы подаем на вход усилителя большую или меньшую часть низкочастотного напряжения. Иногда R''_1 включают вместо сопротивления утечки (рис. 49, а).

Приведенная на рисунке 49 схема усилителя низкой частоты в реальном приемнике встречается с целым рядом изменений и дополнений.

Многие изменения не носят принципиального характера, и вы легко поймете их, если внимательно читали предыдущие разделы. К числу таких изменений можно отнести применение в первом каскаде триода вместо пентода, подачу смещения на сетку первой лампы за счет ее собственного сеточного тока (рис. 39, б), подачу смещения на обе лампы с сопротивления включенного в цепь общего «минуса» (рис. 48), питание экранной сетки от делителя напряжения (рис. 41, в). Встречаются в усилителях НЧ особенности, с которыми мы еще не знакомы. К их числу в первую очередь нужно отнести отрицательную обратную связь, раздельную регулировку тембра и двухтактный выходной каскад.

С обратной связью мы познакомились, когда речь шла о недостатках триода (стр. 121) — она возникла из-за того, что сигнал из анодной цепи лампы попадал в сеточную. Существует две разновидности обратной связи — положительная и отрицательная. В первом случае сигнал, попадающий в сеточную цепь из анодной, действует согласованно, или, как говорят, в фазе с усиливаемым сигналом, в результате чего переменное напряжение на сетке увеличивается. Во втором случае обратная связь действует в противофазе с сигналом и ослабляет его. В усилителях низкой частоты используется только отрицательная обратная связь, так как она позволяет снизить нелинейные искажения и в широких пределах корректировать частотную характеристику усилителя.

Каждая электронная лампа, особенно выходная, в какой-то степени изменяет форму усиливаемого сигнала, создает нелинейные искажения (стр. 38). Связано это с тем, что на некоторых участках характеристика лампы нелинейна — анодный

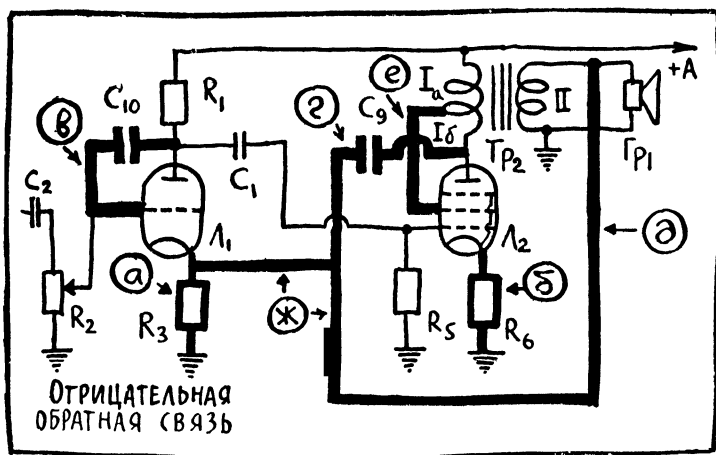


Рис. 50.

ток не всегда прямо пропорционален напряжению на сетке. В результате нелинейных искажений на выходе усилителя появляются синусоидальные составляющие, которых не было на входе, и из радиоприемника вместо чистого, прозрачного звука доносятся скрежет и хрипы. Для объективной оценки искажений существует специальная величина — коэффициент нелинейных искажений, который показывает, сколько процентов от основного сигнала составляет мощность вновь появившихся посторонних гармоник. Нелинейные искажения в 3—5 процентов наше ухо практически не замечает, 10—15 процентов сильно искажают передачу, ну а при искажениях больше 20 процентов речь и особенно музыку может слушать человек лишь с исключительно крепкими нервами. Помимо ламп «богатым» источником нелинейных искажений является еще и громкоговоритель, а также выходной трансформатор. Кроме того, в общий счет входят искажения, которые появляются на передающей стороне радиовещательного тракта. Все это заставляет вести упорную борьбу с каждым лишним процентом искажений везде, где это только возможно, в том числе и в усилителе низкой частоты.

Когда мы вводим отрицательную обратную связь в усилитель НЧ, то из анодной цепи на сетку попадает не только усиливаемый чистый сигнал, но и все посторонние гармоники, появившиеся в самой лампе в результате искажений. И вот здесь-то, попав на главный командный пост лампы, на управляющую сетку, появившиеся в результате искажений гармоники начинают сами себя ослаблять, действуя против своих «родителей» — посторонних гармонических составляющих анодного тока. Конечно, подобным способом

нельзя полностью избавиться от искажений, но уменьшить их в несколько раз удастся. Заметим, что наряду с определенными достоинствами отрицательная обратная связь имеет и серьезный недостаток, она одновременно ослабляет полезный сигнал. Однако бороться с этим недостатком довольно просто — нужно лишь повысить усиление предыдущего каскада и подавать напряжение на сетку с некоторым запасом.

На рис. 50 вы видите упрощенную по сравнению с предыдущей (не показаны цепи накала, вместо пентода в первом каскаде работает триод) схему усилителя НЧ, где жирными линиями показано несколько типичных цепей отрицательной обратной связи. Прежде всего (а, б) напряжение обратной связи появится на катодных сопротивлениях R_3 и R_6 , если отключить от них конденсаторы. Теперь под действием анодного тока на сопротивлениях возникает не только постоянное, но и переменное напряжение, которое, как всегда, действует между катодом и корпусом, а значит, между катодом и сеткой.

Анод лампы L_1 с ее сеткой непосредственно связывает конденсатор C_{10} (в). Он по сути дела лишь увеличивает междуэлектродную емкость лампы. Аналогичная цепь (г) протянута с анода выходной лампы к сетке первого каскада, правда, не к самой сетке, а к сопротивлению R_3 , которое, как только что было отмечено, включено между сеткой и катодом лампы L_1 . Одна из цепей (д) охватывает практически весь усилитель, так как напряжение низкой частоты здесь подается со вторичной обмотки выходного трансформатора на вход первого каскада, в другой цепи (ж) отрицательной обратной связью охвачены лишь главные источники нелинейных искажений — выходной каскад (L_2) и выходной трансформатор. Обратная связь может подаваться и на экранную сетку, например, с части витков (I б) первичной обмотки выходного трансформатора (е). Такую схему иногда называют ультралинейной.

С помощью конденсатора, сопротивление которого, как из-

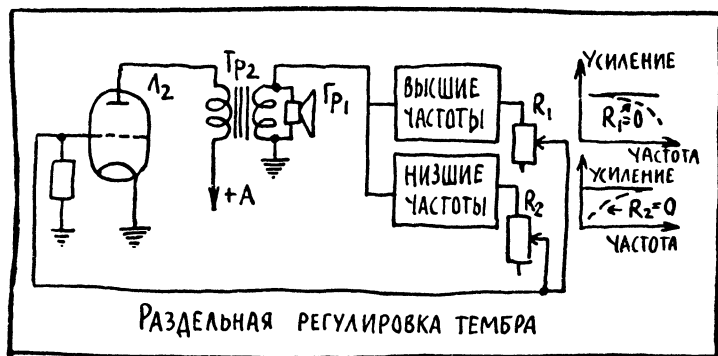


Рис. 51.

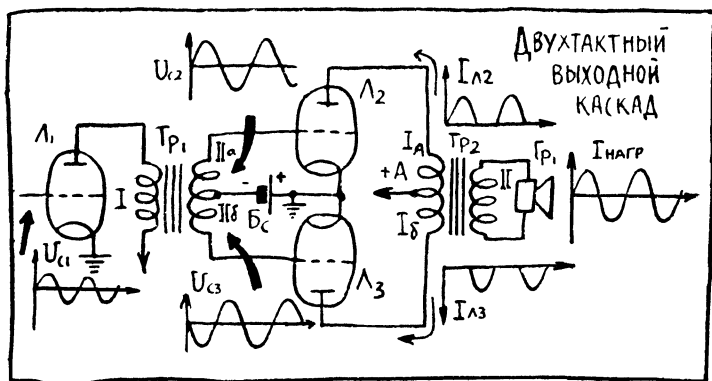


Рис. 52.

вестно, зависит от частоты, удается сделать обратную связь неравномерной—усилить или, наоборот, ослабить ее в некоторой части звукового спектра и таким путем «поднять» или «завалить» определенный участок частотной характеристики. Этот прием широко используется в усилителях НЧ и, в частности, в отдельном регуляторе тембра, работу которого поясняет рис. 51. В цепи обратной связи имеются два фильтра — один из них пропускает высшие звуковые частоты, другой — низшие. Уменьшая сопротивление R_1 , это своего рода гасящее сопротивление, мы усиливаем обратную связь (а значит, ослабляем входной сигнал) на высших частотах и создаем «завал» частотной характеристики в этой области. Аналогично с помощью сопротивления R_2 регулируется тембр в области низших частот. Практически в цепях обратной связи имеется значительное количество сопротивлений и конденсаторов (в принципе вместо конденсаторов можно использовать катушки — их сопротивление тоже зависит от частоты), с помощью которых и осуществляется корректировка частотной характеристики.

И, наконец, еще один незнакомый нам элемент усилителя НЧ — двухтактный выходной каскад. Когда от усилителя нужно получить большую мощность и одной лампы уже недостаточно, поступают довольно просто — берут две, включая их так, как показано на рис. 52. Это и есть двухтактный выходной каскад, который можно встретить почти во всех приемниках высокого класса.

Возможен такой режим двухтактного каскада, когда лампы работают поочередно, подобно кенотронам в двухполупериодном выпрямителе. Правда, в двухполупериодном выпрямителе нагрузку включают так, чтобы получить в ней пульсирующий ток, то есть ток одного направления. В двухтактном каскаде задача совсем другая — лампы должны создать в на-

грузке переменный ток, причем каждая из них обеспечивает какой-нибудь один — положительный или отрицательный полупериод этого тока. Из каждой половинки обмотки энергия передается во вторичную, где выходные мощности обеих ламп суммируются в едином переменном токе низкой частоты.

Можно было бы, конечно, обойтись и без двухтактной схемы и просто включить лампы параллельно — анод соединить с анодом, катод — с катодом, сетку — с сеткой. При этом увеличился бы суммарный анодный ток, а значит, и входная мощность. Однако двухтактная схема имеет по сравнению с параллельным включением ламп, да и вообще по сравнению с любой однотактной схемой (рис. 49), ряд серьезных преимуществ. Главные из них — малые нелинейные искажения при большой выходной мощности, уменьшение габаритов выходного трансформатора, экономный расход анодного тока, возможность улучшить частотную характеристику. Благодаря этим достоинствам двухтактная схема, наверное, применялась бы еще более широко, не будь у нее так велики запросы. Она требует, чтобы на сетки ламп \mathcal{L}_2 и \mathcal{L}_3 подавались одинаковые по величине и обязательно противофазные напряжения — когда на одной сетке положительный полупериод усиливаемого сигнала, на другой должен быть отрицательный. Для того чтобы получить такие напряжения, как правило, используется специальный усилительный каскад с громоздким названием «фазоинвертор».

Наиболее простая схема для получения двух напряжений показана на рис. 52. Здесь вторичная обмотка междулампового трансформатора Tr_1 разделена на две части, а так как заземлен средний вывод («средняя точка»), то напряжения на сетках ламп \mathcal{L}_2 и \mathcal{L}_3 оказываются в противофазе — в тот момент, когда на сетке \mathcal{L}_1 «плюс» относительно шасси, на сетке

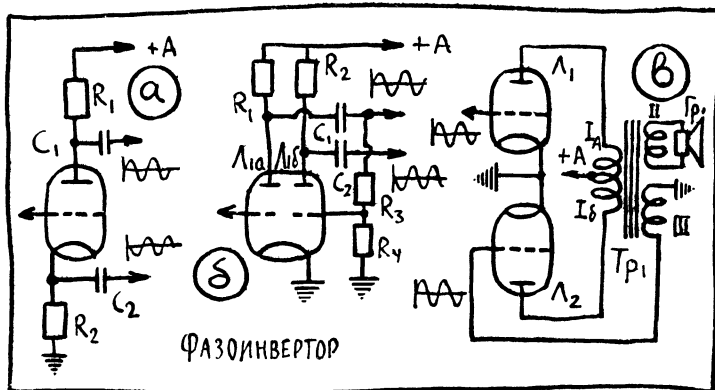


Рис. 53.

L_2 — «минус». В приемниках подобная схема сейчас встречается сравнительно редко — ее заменили бестрансформаторные ламповые фазоинверторы. Один из них — усилительный каскад с разделенной на две части нагрузкой (рис. 53, а). Когда под действием входного сигнала увеличивается анодный ток лампы L_1 , то одновременно возрастают и напряжения на анодной R_1 и катодной R_2 нагрузках. При этом, естественно, напряжение на аноде уменьшается, а на катоде увеличивается. Иными словами, напряжения, которые получаются с выходом этого необычного каскада, действуют в противофазе, что и необходимо для двухтактного усилителя. В третьей схеме (рис. 53, б) переворачивание фазы осуществляется с помощью дополнительного каскада, который собран на первой половине двойного триода (L_1). И, наконец, четвертая схема (рис. 53, в), где напряжение на сетку одной из ламп двухтактного каскада подается с выходного трансформатора. Нужную фазу этого напряжения можно легко получить, заземляя тот или другой вывод специальной обмотки III.

Оценивая наиболее интересные изобретения нашего времени, люди далекого будущего, вероятно, отдадут должное старому доброму граммофону. Первые аппараты записи и воспроизведения звука — фонограф и граммофон — так же, как книги, фотография, кино — открыли новые возможности для хранения и распространения информации — главного богатства цивилизованного человечества. Больше того, звукозапись — это одно из средств хоть как-то противостоять неумолимому течению времени. Для нас навсегда потеряны виртуозное мастерство Паганини-исполнителя и страстные монологи великих актеров русского крепостного театра, но голоса Собиннова, Шаляпина, Карузо стали бессмертными благодаря небольшим черным дискам с длинными, закрученными в спираль звуковыми дорожками. Граммофонные пластинки сохранили на века бесконечно дорогой всем людям голос вожды революции Владимира Ильича Ленина.

Подлинный переворот в звукозаписи произвела радиоэлектронная техника. На ее основе появились принципиально новые системы записи звука и, в частности, оптическая и магнитная. Даже старый граммофон, подружившись с молодыми и умелыми электронными приборами, сам в корне преобразился и начал свою вторую жизнь. Раньше на долю граммофона доставалась поистине непосильная работа — слабые колебания иглы, бегущей по извилистой звуковой дорожке, сами, без всякой посторонней помощи должны были создавать звук. Хорошо известно, какой это был звук! Напрягаясь из последних сил, работая с огромным браком — с сильными частотными и нелинейными искажениями, граммофон с трудом развивал звуковую мощность в несколько сотых долей ватта.

Теперь все происходит иначе. В звуковоспроизводящий

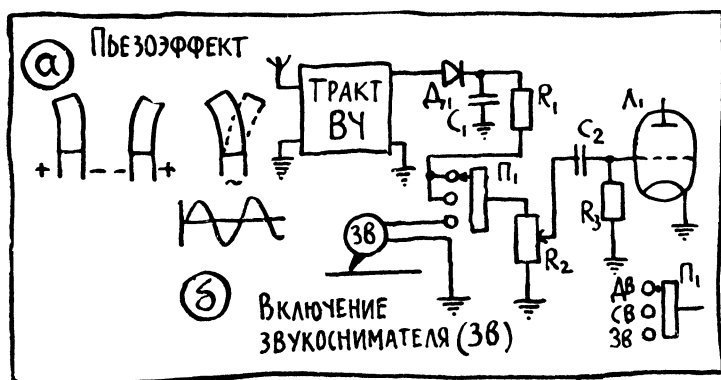
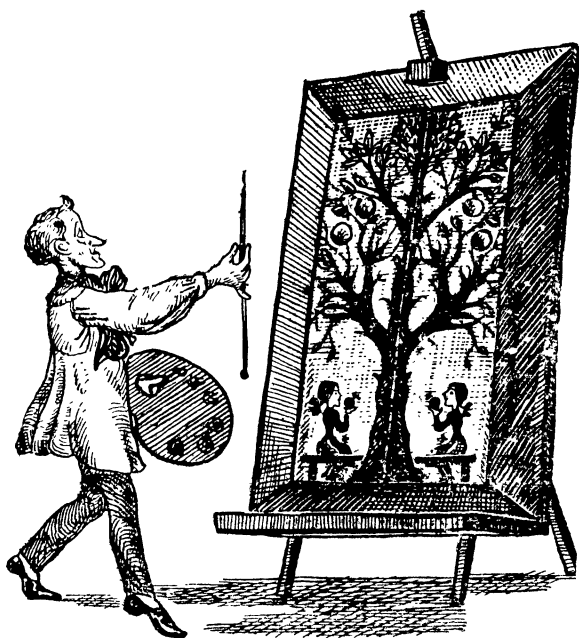


Рис. 54.

тракт вклинились ламповые усилители, граммофонная игла перешла на легкую работу, исчезли проблемы мощности, резко уменьшились искажения. Теперь игла звукоснимателя легкая, как пушинка, только считывает информацию. Скрупулезно следуя за всеми извилинами канавки, она колеблется и с помощью пьезоэлемента (чаще всего кристалл титаната бария) эти колебания превращаются в переменное электрическое напряжение соответствующей формы (рис. 54, а). Одним словом, звукосниматель — это тоже своего рода переводчик, причем той же квалификации, что и микрофон.

Легкие условия работы звукоснимателя, позволяющие ему практически без искажения осуществлять перевод с «механического языка» на «электрический», можно подтвердить цифрами. Когда звукосниматель воспроизводит долгоиграющие записи, то наибольшая амплитуда колебаний его иглы (обратите внимание — наибольшая!) составляет 20—30 микрон; вес звукоснимателя, приведенный к концу иглы, не превышает 5—12 граммов; от звукоснимателя требуется низкочастотное напряжение в несколько сотых долей вольта и мощность ...0,000 000 1 ватта! Дальше за звукоснимателем следует уже знакомый нам усилитель НЧ, который усиливает этот слабый сигнал, доводит его мощность до необходимой величины и передает громкоговорителю. Для воспроизведения грамзаписей приспособлен любой приемник. Установив переключатель диапазонов в положение *Зв* — звукосниматель, мы переключаем вход усилителя НЧ с детектора к выведенным на заднюю стенку гнездам для звукоснимателя (рис. 54, б). В радиолах одновременно включается в сеть электродвигатель.

На этом мы, пожалуй, закончим разговор о низкочастотном усилительном тракте радиоприемника. Теперь нам предстоит посмотреть, как происходит усиление сигнала до детектора, как устроен и работает тракт усиления высокой частоты.



В ПОИСКАХ СИММЕТРИИ

А что если попробовать составить схему приемника, симметричную относительно детектора? С одной стороны детекторного каскада у нас уже есть двухламповый усилитель низкой частоты, а теперь поставим такой же двухламповый усилитель и перед детектором, чтобы он усиливал высокочастотный сигнал, поступающий с входного контура. Одна из возможных схем такого усилителя приведена на рис. 55, а. Она очень похожа на схему низкочастотного усилителя (рис. 49, б), хотя и имеет некоторые особенности.

Во-первых, обратите внимание, как отличаются величины самих элементов схемы — конденсаторов и сопротивлений. Это связано прежде всего с тем, что на высоких частотах емкостное сопротивление конденсатора несравненно меньше, чем на низких. Поэтому, например, переходный конденсатор C_4 может иметь очень маленькую емкость, в сотни раз меньше, чем в усилителе НЧ — на высоких частотах, и небольшой емкости достаточно для того, чтобы легко пропустить сигнал с одного

каскада на другой. По той же причине стали значительно меньше и емкости развязывающих фильтров в цепях катода и экранных сеток.

Два слова об анодных нагрузках. Во втором каскаде вместо сопротивления в анодную цепь включен высокочастотный дроссель Dr_1 . Он справляется с обязанностями нагрузки не хуже, а, пожалуй, даже лучше, чем сопротивление. Под действием анодного тока на индуктивном сопротивлении дросселя появляется усиленное напряжение, причем величину индуктивного сопротивления мы всегда можем сделать достаточно большой, увеличив число витков дросселя или вставив в него стальной сердечник. В то же время дроссель почти не оказывает сопротивления постоянному току и поэтому не снижает постоянного напряжения на аноде лампы.

В первом каскаде на месте анодной нагрузки мы видим привычное сопротивление, однако величина его по целому ряду причин намного меньше, чем в усилителе НЧ. В результате и усиление каскада с такой нагрузкой оказывается сравнительно небольшим.

Когда высокочастотный тракт приемника представлялся нам в виде загадочного «черного ящика», мы не задумывались над тем, каким образом напряжение высокой частоты подается на детектор. Сейчас этот вопрос уже нельзя обходить. В зависимости от схемы усилительного каскада связь с детектором может осуществляться двумя различными способами, и в соответствии с этим существуют две схемы детекторов — параллельная и последовательная. В первой (рис. 55, а) детектор и его нагрузка соединены параллельно, а высокочастотный сигнал подается прямо с анода усилителя через разделительный конденсатор. В последовательной схеме (рис. 55, б, в) детектор, нагрузка и источник сигнала соединены последовательно. Источником сигнала, как правило, является катушка связи, проще говоря, вторичная обмотка высокочастотного трансформатора, включенного в анодную цепь усилителя ВЧ. Встречаются две практически одинаковые последовательные схемы, в одной из которых заземлен диод, в другой — один из выводов катушки связи.

Приведенная схема усилителя высокой частоты встречается очень и очень редко, а в радиовещательных приемниках она вообще никогда не применяется. В таком усилителе, построенном по образцу низкочастотного, можно решить только одну из стоящих перед нами задач — усилить сигнал до детектора. Но в высокочастотном тракте предстоит провести еще одну, не менее важную операцию — ослабить сигналы мешающих станций и выделить только один нужный нам сигнал. В какой-то степени это делает входной контур, но только в какой-то степени. Другое дело, если между антенной и детектором будет несколько контуров, ну, скажем, три. Один из них ослабит

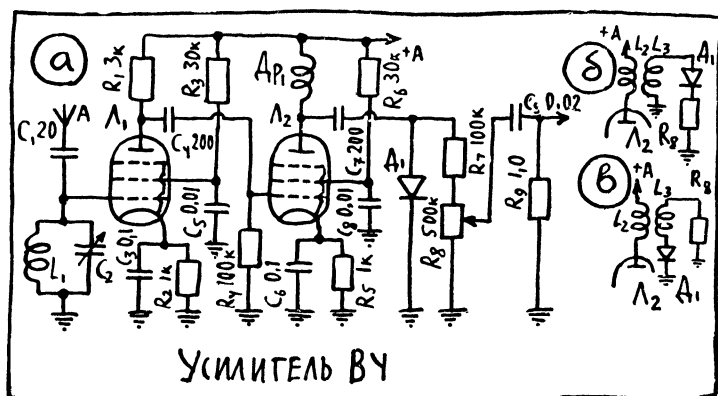


Рис. 55.

сигнал соседней станции в 5 раз, второй — в 5 раз, третий — в 5 раз, и в итоге получится, что с помощью трех контуров сигнал мешающей станции ослаблен в 125 раз! Одним словом, чем больше контуров будет в высокочастотном тракте, тем лучше избирательность приемника.

Колебательный контур можно включать на различных участках высокочастотного усилительного тракта и при этом так же, как и во входной цепи, контур будет верно нести свою службу, выделять из общей массы сигналы той частоты, на которую он настроен. Контур может занять место сопротивления утечки (рис. 56, а), и это уже будет избирательная утечка, повышающая напряжение на резонансной частоте. Можно включить контур и в качестве анодной нагрузки (рис. 56, б), и опять-таки это будет избирательная нагрузка, так как сопротивление параллельного контура на резонансной частоте возрастает, а вместе с ним возрастает и усиление каскада. Можно, наконец, просто собрать несколько контуров, связать их с помощью конденсаторов или катушек связи и включить между усилительными каскадами этот многоконтурный фильтр с очень высокой избирательностью. Наиболее широкое распространение получили двухконтурные фильтры с индуктивной или емкостной связью между контурами (рис. 56, в).

«Симметричный» приемник, где до детектора работает примерно такой же усилитель, что и после детектора, называется приемником прямого усиления. В высокочастотном тракте такого приемника имеется несколько, обычно два, а иногда и три, колебательных контура, включенных в анодные или сеточные цепи усилительных ламп. Лет тридцать тому назад приемник прямого усиления применялся очень широко, и различные его типы выпускались в широкую продажу. В дальнейшем

этот приемник был полностью вытеснен более совершенным — супергетеродином, однако попытки возродить массовый приемник прямого усиления предпринимались много раз, в том числе и в самое последнее время. Все они заканчивались безуспешно. Для того чтобы понять, почему в многолетнем споре победу все-таки одержал супергетеродин, давайте попытаемся представить себе, как в сказочной стране Электронии проходил бы судебный процесс, на котором решался бы спор между супергетеродином и приемником прямого усиления.

Речь Ответственного Представителя супергетеродина на этом процессе, по-видимому, прозвучала бы так:

«Уважаемый председатель суда, уважаемые присяжные заседатели! В своем исковом заявлении приемник прямого усиления, известный больше по кличке «прямик», просит выпустить его массовым тиражом и широко распространить среди радиослушателей. При этом вышеназванный «прямик» ссылается на то, что он якобы может делать все, что требуется от радиоприемника, — умеет усиливать сигнал, ослаблять мешающие станции, воспроизводить грамзаписи, питаться от сети переменного тока. Что касается двух последних аргументов истца, то я уверен, что суд оставит их без внимания. Воспроизводить грамзаписи в наше время умеют многие — телевизоры, звуковые установки и целый ряд специальных, например медицинских, приборов. Но было бы смешно, если бы кто-нибудь из этих уважаемых граждан Электронии потребовал для себя дополнительного звания «радиовещательный приемник». Совершенно смехотворно выглядит ссылка на питание от сети. С такими же претензиями в суд могли бы обратиться электробритвы, стиральные машины и прочие источники помех (здесь Ответственный Представитель, мягко говоря, немножко перегнул палку — все электрические приборы, которые мо-

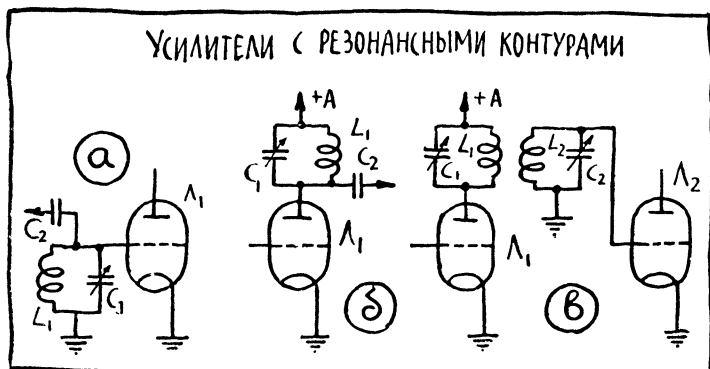


Рис. 56.

гут создавать помехи, снабжены помехозащитными фильтрами).

Теперь разрешите перейти к главным аргументам истца — к его избирательности и чувствительности. Хорошо известно, что высокую избирательность может обеспечить большое число контуров. Может ли себе позволить такую роскошь наш истец? Нет, нет и еще раз нет! Взгляните на схему высокочастотных усилительных каскадов этого «прямика» (здесь оратор предъявляет председателю копию рисунка 56). Каждый контур усилителя ВЧ нужно настраивать на принимаемую станцию, а значит, в каждом контуре должен быть конденсатор переменной емкости, комплект катушек и секция переключателя диапазонов. Вы себе представляете, каким громоздким станет «прямик», если применить в нем 4—5 настраивающих контуров? Я уже не говорю про усилитель ВЧ, в котором должно быть 8—10 контуров, что, кстати говоря, для супергетеродина не представляет никакой трудности.

Когда «прямик» хвастается своей избирательностью, он почему-то приводит данные, относящиеся к длинноволновому диапазону, и совершенно замалчивает свои возможности в диапазоне коротких волн. Это явная попытка ввести в заблуждение суд, попытка, которая сама по себе заслуживает наказания.

ЗЕЛЕННЫЕ ГЛАЗА

В работающем приемнике лампа 6Е5С (или 6Е1П) очень напоминает мигающий зеленый глаз. Поэтому ее часто так и называют глазком или даже магическим глазком. Настоящее имя лампы — оптический индикатор настройки. Она состоит из двух частей — вспомогательного триода и электронно-лучевого индикатора, дальнего родственника телевизионной трубки.

На экран индикатора подается плюс анодного напряжения, и к нему из катода летят электроны, так же, как они направлялись бы к обычному аноду. Под действием электронной бомбардировки экран светится ярким зеленым светом. В одном месте на пути электронов стоит так называемый «нож» — тонкая металлическая пластинка, соединенная внутри баллона с анодом триодной части. Если на «ноже» такое же напря-

жение, как на экране, то электроны равномерно бомбардируют весь экран. Если несколько понизить напряжение на «ноже» (или иначе создать на нем минус относительно экрана), то он будет отталкивать электроны, и на экране появится теневой сектор.

«Плюс» на анод триодной части, а следовательно, и на «нож», подается через довольно большое сопротивление нагрузки R_1 . К сетке триода минусом подводится постоянное напряжение, которое сигнал создает на нагрузке детектора. Когда сигнала нет или когда он очень слаб, анодный ток триода составляет несколько десятков мка и создает на сопротивлении R_1 падение напряжения в несколько десятков вольт. Естественно, что при этом напряжение на аноде, а значит и на «ноже», сравнительно невелико и теневой сектор имеет значительные размеры. Если сигнал усиливается, то на сетке триода растет минус, анодный ток триода падает и те-

Известно, что добротность контура, а значит его избирательность, зависит не только от потерь, но также и от соотношения между индуктивностью и емкостью. Чем больше индуктивность и чем меньше емкость контура, тем выше его добротность. Это одна из причин недопустимо низкой избирательности истца на средних и особенно на коротких волнах, где индуктивность контурных катушек сравнительно невелика.

Вторая причина оказывается еще опаснее. Она неопровержимо показывает всю беспочвенность и, я позволю себе сказать, безнадежность претензий истца. В своем заявлении он утверждает, что может во много раз ослабить соседнюю станцию, отстоящую на 10 килогерц от принимаемой. Но почему же, позвольте спросить, и в этом случае приводятся данные только для длинноволновых станций? А дело опять-таки в том, что это выгодно истцу. Для длинноволнового контура изменение частоты на 10 килогерц это весьма большое изменение, во всяком случае что-то около 4—6% от самой резонансной частоты. А вот на коротких волнах, где мы имеем дело с мегагерцами, изменение частоты на 10 килогерц контур может вообще не заметить, так как эта цифра соответствует лишь сотым и в лучшем случае десятым долям процента. Таким образом, даже при большом числе контуров и при их высокой добротности приемник прямого усиления не в состоянии обеспе-

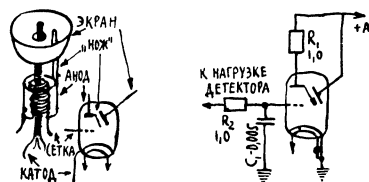
невой сектор суживается. Таким образом, по ширине теневого сектора можно судить о величине напряжения на нагрузке детектора, а значит, и о точности настройки на принимаемую станцию.

Пользуясь приведенной схемой, легко подключить оптический индикатор к любому приемнику. Прямо на ламповой панельке индикатора устанавливается сопротивление нагрузки R_1 , а также фильтр R_2C_1 , который защищает цепь сетки от напряжения низкой частоты, действующего на нагрузку детектора.

Помимо своих основных обязанностей оптический индикатор выполняет «по совместительству» еще кое-какую работу. Им очень удобно пользоваться при настройке колебательных контуров, и, кроме того, заглянув в «магический глаз», можно быстро обнаружить некоторые неисправности приемника. Если экран не светится, то в большинстве случаев это

означает, что на него не подается анодное напряжение и, по-видимому, неисправен анодный выпрямитель. Если «глазок» светится и не «мигает», то можно ожидать какой-либо неисправности в ВЧ-тракте, из-за которой на детектор не поступает высокочастотный сигнал. Полностью закрытый теновый сектор, как правило, признак самовозбуждения в ВЧ-тракте, а недостаточное сужение этого сектора говорит о слабом усилении до детектора.

Одним словом, выражение «глаза — зеркало души» можно в какой-то мере отнести к зеленому глазку радиоприемника.



чить удовлетворительную избирательность на коротких волнах.

Заканчивая, я хочу предупредить маневры истца и его адвокатов, которые, по-видимому, попытаются искать компромиссных решений, а именно будут настаивать, чтобы «прямик» разрешили работать только на средних и длинных волнах. Должен предупредить, что те недостатки, о которых я говорил и которые сильнее всего проявляются на коротковолновом диапазоне, еще достаточно заметны и на средних волнах, а поэтому претензии «прямого» и его попытки должны быть полностью отклонены.

Ко всему этому необходимо добавить большие трудности, возникающие при перестройке всех контуров. Это влечет за собой резкое изменение добротности в пределах диапазона, а особенно при переходе с диапазона на диапазон, а значит изменение избирательности и чувствительности приемника прямого усиления. Кстати говоря, истец ничего вразумительного не пишет о своей чувствительности, а ведь она, особенно на коротких волнах, не выдерживает никакой критики.

Затем слово получает адвокат приемника прямого усиления. Он, по-видимому, сказал бы следующее:

«Уважаемый председатель суда, уважаемые заседатели и не менее уважаемый Ответственный Представитель. Все недостатки моего подопечного сформулированы верно, хотя предыдущий оратор кое-где не удержался от того, чтобы сгустить краски. Но почему, позволено мне будет спросить, речь шла только о недостатках? А если уважаемому обвинителю захотелось привлечь внимание суда только к негативной стороне проблемы, то почему он говорил только о недостатках приемника, который я имею честь представлять? Наш главный конкурент, супергетеродинный приемник, которого в Электронии, да и не только здесь, больше знают по кличке «супер», тоже далеко «не без греха». Речь моего коллеги вынуждает меня рассказать суду о серьезных недостатках «супера», с тем чтобы по мере своих сил содействовать правосудию...»

Здесь мы на некоторое время прервем «не менее уважаемого адвоката», поскольку прежде чем говорить о недостатках, необходимо хотя бы в общих чертах познакомиться с супергетеродином, с принципом его работы и особенностями схемы.



НЕПЕРЕВОДИМОЕ СЛОВО «СУПЕРГЕТЕРОДИН»

Для того чтобы перевести слово «супергетеродин» на русский язык, нужно совершить небольшую экскурсию в историю радиотехники. Первые ламповые приемники строились только по схеме прямого усиления. Затем с модернизацией этой схемы появился принципиально новый метод приема радиотелеграфных сигналов — метод гетеродинного приема. Такое название он получил потому, что в приемнике использовался гетеродин — собственный вспомогательный генератор токов высокой частоты, проще говоря, собственный передатчик небольшой мощности (тысячные доли ватта). В 1918 году на основе того же метода был создан принципиально новый приемник, который и был назван супергетеродином, то есть сверхгетеродин. Это, по-видимому, должно было означать, что новый приемник намного лучше гетеродинного.

Главную особенность супергетеродина можно определить так: какую бы станцию ни принимал этот замечательный приемник, он всегда усиливает и детектирует сигнал только одной частоты. Конечно, это звучит странно, так как частоты у всех станций разные. Как же можно принимать сигналы разных

частот и в то же время усиливать сигналы только одной частоты? Неужели все переменные токи, которые наводятся в антенне приемника, «стригут под одну гребенку» по стандартному образцу и у всех у них частота становится одинаковой? Да, именно так. Теперь вас, наверное, интересует, что дает такая стандартизация и как она практически осуществляется. Прежде чем говорить об этом, нам придется сделать три шага назад, вспомнить три важных положения, о которых уже шла речь раньше.

Первое. Еще в начале книги упоминалось, что ток сложной формы можно представить в виде суммы гармонических (синусоидальных) составляющих определенных частот. Теперь мы знаем, что в случае необходимости можно выделить ту или иную составляющую с помощью колебательного контура.

Второе. Когда шла речь о модуляции, было отмечено, что наряду с основной, несущей частотой передатчик излучает еще и две боковые — верхнюю и нижнюю (рис. 29). Так, например, если несущая частота 200 кГц модулируется низкой частотой 10 кГц, то неизбежны и, кстати говоря, главным продуктом модуляции будут суммарная (верхняя) частота 210 кГц и разностная (нижняя) 190 кГц. Это не просто теоретический прием — с помощью колебательных контуров из модулированного сигнала можно выделить все три высокочастотные составляющие — 190, 200 и 210 кГц.

Третье. Мы уже говорили, что новые составляющие в каком-либо сигнале появляются лишь в том случае, когда этот сигнал подвергается нелинейным искажениям, когда определенным образом меняется форма его кривой. Если высокую и низкую частоту из предыдущего примера мы пропустим через обычное сопротивление, то никаких новых составляющих, никаких боковых частот не получим. На выходе сопротивления будет то же самое, что и на входе, те же 200 и те же 10 кГц. Другое дело, если вместо сопротивления поставить «нелинейный элемент», например, полупроводниковый диод или лампу, способную изменять форму сигнала. Только в этом случае, подвергаясь одновременному «искажению», оба сигнала помимо обычных гармоник совместными усилиями создадут две новые гибридные составляющие с суммарной и разностной частотой. Процесс этот идет независимо от соотношения основных частот — если вместо 10 кГц мы возьмем 150, то получим суммарную частоту 350 кГц и разностную 50 кГц.

После этих небольших отступлений переходим к принципу супергетеродинного приема. На рис. 57 вы видите предельно упрощенную схему, поясняющую главную идею работы супера. Лампа L_1 это гептод (рис. 40, г), из всех сеток которого для простоты показаны только две управляющие. На первую подается сигнал, точнее огромное количество сигналов из антенны, ко второй подводится переменное высокочастотное на-

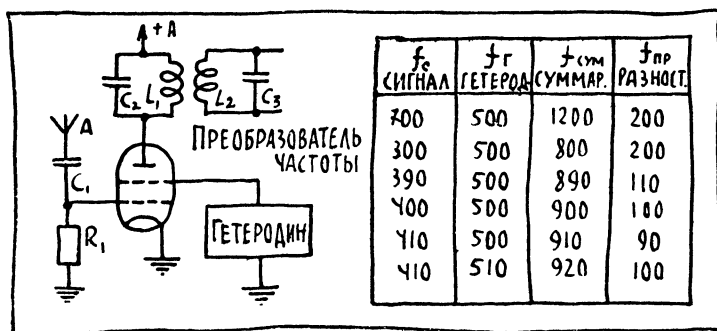


Рис. 57.

пряжение от вспомогательного генератора — гетеродина, с которым мы скоро познакомимся подробно. Предварительно заметим, что частоту гетеродина можно плавно изменять в широких пределах. Показанный на упрощенной схеме каскад называется преобразователем частоты.

Режим лампы L_1 специально подобран так, что она создает некоторые нелинейные искажения и в результате в анодном токе появляются составляющие, которых не было ни на одном из двух входов лампы. Среди новых составляющих будет целая серия гибридов—суммарных и разностных частот «гетеродинной породы». Гетеродин создаст такие «гибриды» для каждой станции, сигнал которой попадет на сетку лампы. На рисунке приведена таблица, где можно найти несколько числовых примеров, показывающих, чему будут равны суммарные и разностные частоты для разных станций. В первом примере частота гетеродина меньше, а во втором больше частоты принимаемого сигнала, однако суть дела от этого не меняется. Интересны четыре последних примера, но прежде чем комментировать их, еще несколько слов о самой схеме.

В анодную цепь преобразователя включен двухконтурный фильтр L_1C_2 , L_2C_3 . Так же, как и в любом другом резонансном усилителе (рис. 56), этот фильтр выделит из всех составляющих анодного тока только ту, на частоту которой он настроен. Так, если контуры настроены на 100 кГц, то из всех составляющих, которые появятся при частоте гетеродина 500 кГц, в анодной цепи выделится только разностная частота, соответствующая принимаемому сигналу 400 кГц. Если изменить частоту гетеродина и сделать ее равной 510 кГц, то на смену этому сигналу уже придет другой — с частотой 410 кГц, так как теперь именно он совместно с гетеродином создаст разностную частоту 100 кГц, на которую настроен анодный двухконтурный фильтр. Одним словом, изменяя частоту гетеродина, можно будет выделить разностную частоту 100 кГц, полученную от любого сигнала действующего в антенне приемника.

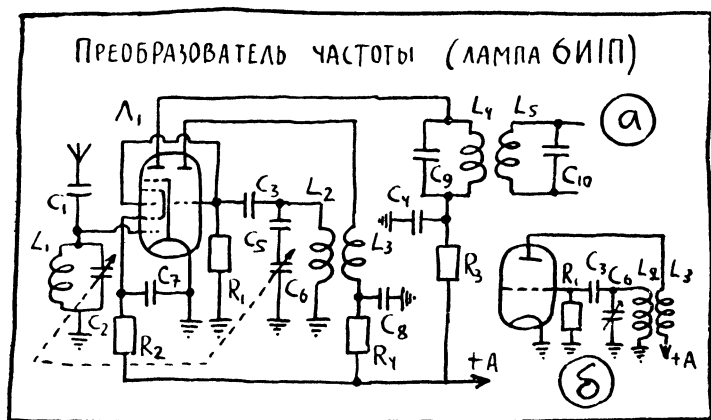


Рис. 58.

Дети всегда чем-то похожи на родителей. Разностная частота, которую выделит анодный контур, оказывается промодулированной точно так же, как и участвовавший в ее создании сигнал принимаемой станции. Это значит, что если с двухконтурного фильтра высокочастотное напряжение разностной частоты мы подведем к детектору, то получим такой же низкочастотный ток, какой получили бы при детектировании основного сигнала.

На пути от преобразователя к детектору можно усилить сигнал разностной (обычно ее называют промежуточной) частоты и с помощью колебательных контуров тщательно отделить его от других составляющих.

Итак, главная идея супергетеродинного приема ясна — с помощью гетеродина и преобразователя мы прежде всего превращаем сигнал принимаемой станции в сигнал промежуточной (разностной) частоты и именно его усиливаем и детектируем. Это дает возможность довольно простыми средствами получить высокую чувствительность и избирательность на всех диапазонах. Во-первых, в усилителе промежуточной частоты (ПЧ) можно применить большое число контуров, так как они всегда настроены на одну и ту же частоту и конструктивно выполняются очень просто. Каждый такой контур — это катушка и конденсатор постоянной емкости — никаких переключателей и конденсаторов настройки, как в приемнике прямого усиления. Во-вторых, поскольку усиливается частота всегда одинакова, то «супер» обладает одинаковой чувствительностью и избирательностью на всех диапазонах.

И, наконец, если сделать промежуточную частоту не очень высокой, то контуры смогут легко ослаблять соседние станции (точнее, их разностные частоты), а электронные лампы будут избавлены от специфических трудностей, связанных с

усилением очень высоких частот. В нашей стране для всех приемников установлена единая стандартная промежуточная частота 465 *кГц*, которая лежит в промежутке между диапазонами длинных и средних волн. На этой частоте усилитель ПЧ работает примерно в таких же благоприятных условиях, как приемник прямого усиления в конце ДВ диапазона.

Из многих схем преобразовательных каскадов в наших приемниках наиболее широко применяются две. Одна из них выполнена на базе лампы 6И1П (рис. 58), вторая использует более старую лампу 6А7 (рис. 59).

Лампа 6И1П комбинированная — в ее баллоне имеется гетод, который работает в самом преобразователе частоты, и триод, на котором собран гетеродин. На полной и особенно на упрощенной схеме гетеродина (рис. 58, б) видно, что один из основных его элементов это колебательный контур L_2C_6 .

Под действием первой же попавшей в контур порции энергии в нем начинаются собственные колебания, частота которых, как всегда, определяется индуктивностью и емкостью. Именно поэтому очень хотелось бы иметь контур в качестве источника вспомогательного высокочастотного напряжения — изменяя емкость и индуктивность, можно было бы легко менять вспомогательную частоту и таким образом перестраиваться с одной станции на другую (рис. 57, таблица). И в то же время сам контур без посторонней помощи не может участвовать в преобразовании частоты, поскольку колебания в нем затухают. Задача всех остальных элементов гетеродина и в первую очередь усилительной лампы в основном сводится к тому, чтобы сделать колебания в контуре незатухающими.

Катушка L_3 , включенная в анодную цепь лампы, расположена рядом с контурной катушкой L_2 и связана с ней общим магнитным полем. Иными словами, обе эти катушки образуют высокочастотный трансформатор, с помощью которого энергия

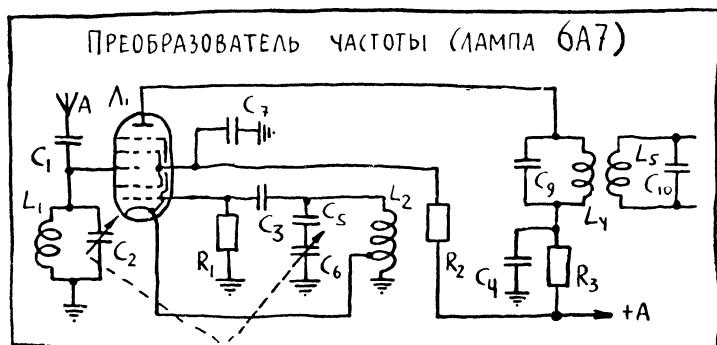


Рис. 59.

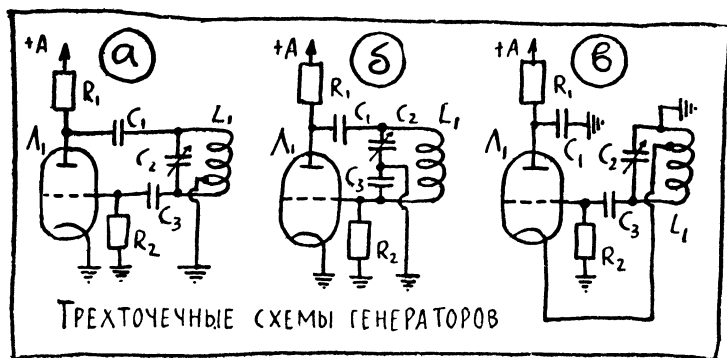


Рис. 60.

из анодной цепи передается в сеточную, то есть осуществляется обратная связь. В отличие от того, что мы видели в усилителе низкой частоты, в гетеродине обратная связь положительна. Переменный ток, который катушка L_3 — она называется катушкой обратной связи — наводит в контуре, действует согласно, в фазе с собственными колебаниями этого контура. Связь получается положительной благодаря определенному включению катушки; если поменять местами ее выводы, то связь станет отрицательной.

Известно, что собственные колебания в контуре затухают потому, что запасенная энергия постепенно расходуется на преодоление потерь. Теперь эти расходы восполняются за счет энергии, которая поступает в контур из анодной цепи и, при достаточно сильной положительной обратной связи потери в контуре будут полностью скомпенсированы — колебания станут незатухающими. Так ламповый генератор — гетеродин становится источником нужного нам переменного напряжения, частоту которого можно менять с помощью конденсатора и катушки. В гетеродине, так же как и во входном контуре, переход с диапазона на диапазон осуществляется переключением катушек, а плавная настройка в пределах диапазона с помощью конденсатора переменной емкости. Кстати говоря, на схемах преобразователей вы, по-видимому, узнаете и входной контур, $L_1 C_2$, включенный в цепь антенны. О том, какую роль он играет в супергетеродине и почему конденсаторы C_2 и C_6 соединены пунктирной линией, вы узнаете в конце главы.

Схема генератора, примененная во втором преобразователе частоты (рис. 59), называется трехточечной. Здесь катушки обратной связи нет вообще и сама лампа подключена к контуру всеми тремя своими электродами (рис. 60). Благодаря этому контур получает энергию из анодной цепи и часть ее передает обратно на сетку. Для того чтобы в трехточечной схеме обратная связь была положительной, сетку и анод нуж-

но подключить к краям контура, а катод — к середине. В нашей схеме (рис. 60, в) это требование выполнено, но весьма оригинальным путем.

Для постоянного тока, как обычно, заземлен катод через часть контурной катушки, сопротивление которой для постоянного тока практически равно нулю. В то же время для переменного тока катод нельзя считать заземленным, так как на высокой частоте индуктивным сопротивлением катушки уже никак пренебрегать нельзя. Для переменного тока заземлен анод — он замкнут на корпус через конденсатор C_1 достаточно большой емкости, а поскольку с корпусом соединен и нижний (по схеме) «край» контура, то можно считать, что главное требование (катод в центре, анод и сетка по краям) выполняется полностью.

Для чего понадобились все эти хитрости? Почему нельзя было просто, как обычно, заземлить катод?

Этот схемный фокус нужен был для того, чтобы отыскать для гетеродина триод там, где, по сути говоря, его нет.

Сравнивая обе схемы преобразователей, вы, очевидно, обратите внимание на то, что в лампе 6А7 действительно нет триодной части. Эта лампа разрабатывалась в расчете на отдельный, то есть собранный совсем на другой лампе гетеродин, но затем оказалось возможным обойтись и без нее, используя местные ресурсы. Отдельная управляющая сетка для гетеродина в лампе 6А7 есть, катод без всяких разговоров взялся за дополнительную работу, ну а обязанности анода по совместительству приняла на себя экранная сетка. Правда, здесь пришлось пойти на некоторые уступки экранной сетке. Поскольку для выполнения своих основных обязанностей она должна быть заземлена через конденсатор (рис. 41), то гетеродин пришлось собрать по схеме с заземленным (через C_7) для переменного тока анодом. В то же время для постоянного тока экранную сетку заземлить нельзя — на нее подается положительное напряжение от общего выпрямителя.

Несколько слов о величине, или, как обычно говорят, о глубине обратной связи. Здесь «недосолить» так же опасно, как «пересолить» — если связь будет недостаточно сильной, потери в контуре будут скомпенсированы не полностью и колебания постепенно затухнут. При слишком сильной связи амплитуда колебаний будет непрерывно нарастать.

Вопреки известной пословице, мы выбираем «пересол» — делаем обратную связь сильнее, чем нужно. В то же время в действие вводится «малая автоматизация» — сопротивление R_2 , которое сумеет поддерживать напряжение на контуре «в пределах нормы». Дело в том, что по этому сопротивлению проходит сеточный ток и создает на нем напряжение отрицательного смещения (рис. 39, в). Когда напряжение на контуре растет, увеличивается и сеточный ток, а вместе с ним и отри-

цательное смещение. При этом анодный ток уменьшается и из анодной цепи в контур попадает меньше энергии. Подобрав определенным образом степень связи между катушками, а также данные цепочки, можно добиться того, что высокочастотное напряжение на контуре не будет выходить из пределов 5—15 в, что как раз и требуется для нормальной работы преобразователя.

В супергетеродине вслед за преобразователем частоты должен идти усилитель ПЧ, а затем детектор. Типичная и несколько упрощенная схема этого участка показана на рис. 61. Первый двухконтурный фильтр L_1C_1 , L_2C_2 связывает анодную цепь преобразователя и сеточную цепь самого усилителя ПЧ, который, как всегда, собран на высокочастотном пентоде (Λ_2). Второй двухконтурный фильтр L_3C_3 , L_4C_4 связывает анодную цепь усилителя ПЧ с детектором. В остальном схема, по-видимому, не требует пояснений, если не считать не знакомую нам еще систему автоматической регулировки усиления.

Когда вы вращаете ручку настройки приемника, то все станции слышите примерно с одинаковой громкостью. Примерно — это значит, что мощная станция может быть в несколько раз громче слабой или очень далекой. Если бы в приемнике не было автоматической регулировки громкости (АРГ) или, как ее чаще называют, автоматической регулировки усиления (АРУ), то вместо слов «в несколько» мы должны были бы написать «в несколько тысяч» — уровни сигналов, действующих в антенне, различаются чрезвычайно резко. Сами понимаете, что такие скачки сильно затруднили бы пользование приемником — одновременно с поиском станции пришлось бы непрерывно крутить ручку регулятора громкости. Кроме того, очень заметными стали бы «замирания» на коротких и на средних

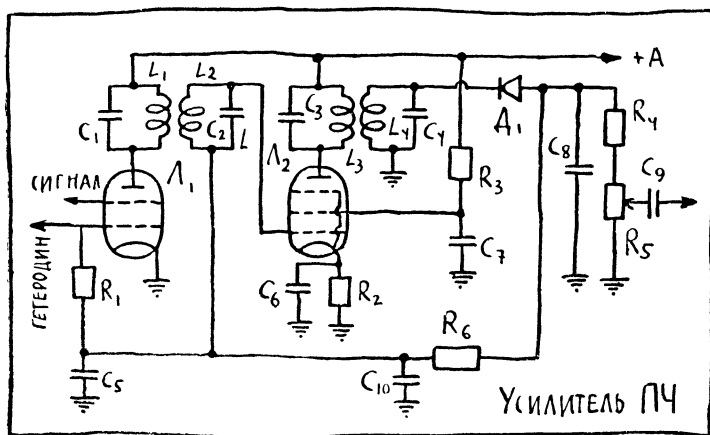


Рис. 61.

волнах, где уровень сигнала все время меняется из-за сложных процессов в отражающих слоях ионосферы.

От этих неприятностей в значительной степени и спасает система АРУ. Она следит за уровнем принимаемого сигнала и по мере его роста автоматически снижает усиление высокочастотного тракта приемника. Для этой ответственной операции используются «отходы производства» — постоянная составляющая тока, получаемая при детектировании (рис. 61).

Из схемы ясно, что чем сильнее принимаемый сигнал, тем больше постоянная составляющая пульсирующего тока, которая проходит по сопротивлениям R_4 , R_5 , тем, следовательно, больше и постоянное напряжение на них. Это напряжение «минусом» подается на сетки высокочастотных ламп L_1 и L_2 . Гептоды, так же как обозначаемый буквой К пентоды (стр. 128), имеют характеристику с переменной крутизной — чем больше «минус» на управляющей сетке такой лампы, тем меньше она усиливает сигнал.

В системе АРУ источником смещения для высокочастотных ламп служит постоянное напряжение на нагрузке детектора. Чем сильнее сигнал, тем больше отрицательное смещение, тем меньше усиление сигнала. Это и есть автоматическая регулировка усиления, а значит, и громкости. Фильтр $R_6 C_{10}$ в цепи АРУ предохраняет высокочастотные лампы от действующего в детекторе напряжения НЧ.

В основных чертах портрет супергетеродина нами нарисован. Познакомились мы с главными достоинствами приемника, в основе которых лежит постоянство усиливаемой частоты. Однако справедливость требует, чтобы были отмечены и недостатки супера, а поэтому мы вернемся на судебный процесс, происходящий в Электронии, и дослушаем речь адвоката, который как раз собрался доказать суду, что супергетеродин «не без греха».

«Взгляните на таблицу, иллюстрирующую принцип действия супера, — продолжает свою речь адвокат, протягивая судье копию таблицы, которую вы видели на рисунке 57. — Мне хотелось бы обратить ваше внимание на то, что в первых двух примерах получаются одинаковые разностные частоты при одной и той же частоте гетеродина, но при разных, я еще раз подчеркиваю, при разных сигналах. Это значит, что если контуры промежуточной частоты будут настроены на 200 кГц и гетеродин будет давать переменное напряжение с частотой 500 кГц, то мы одновременно услышим две станции, работающие на частотах 700 и 300 кГц. Вы только не подумайте, что это случайное совпадение — сама природа супера такова, что он всегда, при любой промежуточной частоте и при любой частоте гетеродина одновременно принимает две станции — частота одной из них выше гетеродинной, частота другой ниже.

Никто из граждан Электронии одновременно двух станций

не слушает — нам нужна одна и только одна программа. Вторая станция является помехой, которую так и хочется назвать зеркальной, так как для усилителя ПЧ она является точной и неотличимой копией основной, принимаемой, станции. И как бы ни подчеркивал супер свои огромные возможности, избавиться от зеркальной помехи он не может. Если кто-нибудь думает, что это не так, то пусть объяснит суду, каким образом контуры усилителя ПЧ смогут узнать, когда промежуточная частота (в нашем примере 200 кГц) относится к нужной станции, а когда — к ненужной.

Супергетеродин подвержен еще одной неизлечимой болезнью — в него может беспрепятственно пробраться любой сигнал, частота которого равна промежуточной. Для этой частоты на всех путях супера открыт «зеленый свет» — на нее настроены все контуры. Попав на сетку первой лампы, любой сигнал, частота которого равна промежуточной, с триумфом проходит до самого детектора без всякой помощи гетеродина. Проще говоря, супер, который на каждом шагу подчеркивает недостатки моего истца, сам представляет собой приемник прямого усиления с заранее настроенными контурами для сигналов промежуточной частоты.

Я вижу, как уважаемый Ответственный представитель супергетеродина делает в своем блокноте пометки. Он, очевидно, хочет возразить, что на промежуточной частоте не работает ни одна радиостанция и что поэтому нечего, мол, опасаться каких-либо мешающих сигналов, которые могут воспользоваться секретным паролем и пролезть в приемник без ведома гетеродина. Ну что ж, это на самом деле так — частота 465 кГц и прилегающие к ней частоты действительно свободны от радио-

КОМНАТА — КОНЦЕРТНЫЙ ЗАЛ

Чтобы поставить какому-нибудь приемнику оценку «хороший» или «плохой», нужно прежде всего оценить качество его звучания, верность, естественность воспроизведения звука. В последнее время «высокой верности» уделяется особое внимание. Создаются сложные акустические агрегаты из нескольких громкоговорителей, эффективные схемы регулировки тембра, усилители с глубокой отрицательной обратной связью и большим запасом выходной мощности. Для того чтобы получить эффект «объемного звука», громкоговорители располагают не только на передней, но и на боко-

вых стенках ящика, применяя дополнительные выносные громкоговорители.

И все же достаточно высокое качество звучания получить трудно, когда ведется прием на длинных, средних или коротких волнах. Это особенно чувствуется, когда вы переходите на ультракороткие волны. Передачи на УКВ создают у вас полное впечатление, что вы попали в прекрасный концертный зал и исполнители находятся где-то совсем рядом. Радиовещательные УКВ-передатчики работают не с амплитудной, а с частотной модуляцией — сокращенно ЧМ. Само название говорит о том, что в процессе ЧМ под действием звука изменяется не амплитуда, а частота

станций. Но кто же, позвольте спросить, запретит работать на этой частоте грозovým разрядам, искрящим переключателям, коллекторным двигателям и всем остальным источникам помех? Ведь любая помеха практически содержит в своем спектре составляющие, у которых частота равна промежуточной или соседствует с ней. И все эти составляющие беспрепятственно проникают в супер и вызывают потоки тресков и свистов.

Тщательно взвесив все за и против, я хотел бы просить уважаемый суд Электронии...»

Но здесь мы опять прервем защитника «прямика» и на этот раз уже навсегда. Мы знаем, о чем он просит, и также знаем, что просьба эта не имеет серьезных оснований — достоинства супергетеродина настолько очевидны, что он остается вне конкуренции, во всяком случае там, где решается вопрос о радиовещательном приемнике. Что же касается названных недостатков супера, то они действительно существуют, но здесь адвокат «прямика», как говорится, сгустил краски, и поэтому картина получилась неточной. В действительности, и с зеркальной помехой и с помехами, частота которых равна промежуточной, в супергетеродине ведется успешная борьба.

На обоих схемах преобразовательных каскадов вы видите уже знакомый входной контур ($L_1 C_2$). Конечно, для ослабления соседних станций он в супере не нужен — с этой задачей отлично справляется дружный коллектив контуров промежуточной частоты. Но зато в борьбе с зеркальными помехами входной контур является отличным лекарством, точнее профилактической «противозеркальной» вакциной. Конечно, после преобразователя контуры ПЧ не могут отличить нужный сигнал от зеркальной помехи — в этом отношении адвокат был

тока в передающей антенне. Радиоволны наводят в антенне приемника такой же модулированный по частоте сигнал, который детектируется с помощью специального частотного детектора. Естественно, что в такой системе можно, не опасаясь искажений, ограничить амплитуду и таким образом «срезать» все помехи, которые «налипли» на полезный сигнал. К тому же уровень помех в диапазоне УКВ намного меньше, чем на всех остальных. Одним словом, передачи УКВ радиостанции слышны в полной «тишине», без помех. Радиовещательный УКВ ЧМ-передатчик занимает полосу частот 200 кГц, а расстояние между несущими составляет 250 кГц. При этом удается передать очень ши-

рокий спектр низких частот, практически до 15 000 Гц вместо 5—8 кГц, которыми приходится довольствоваться на других диапазонах.

Ввести УКВ-диапазон в приемник не так-то просто. Для этого нужен отдельный преобразователь частоты, частотный детектор и усилитель ПЧ с широкой полосой пропускания. Правда, роль последнего успешно выполняет основной усилитель ПЧ, в который включают дополнительные полосовые фильтры, настроенные на промежуточную частоту 8,2 МГц. В самое последнее время УКВ-диапазон вводится не только в радиоприемники высокого класса, но и в самые простые и дешевые приемники.

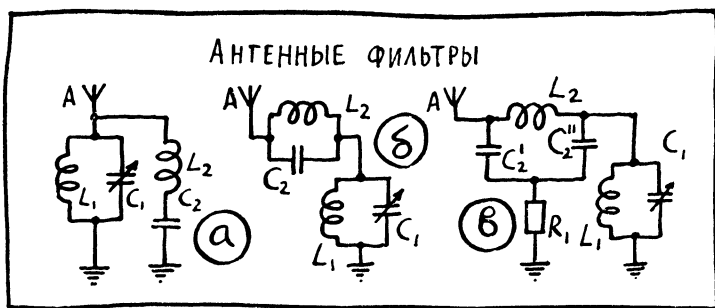


Рис. 62.

прав. Но почему он хочет уговорить нас, что борьбу с «зеркалкой» можно вести только после преобразователя? Ведь на входе приемника основной сигнал и будущая зеркальная помеха имеют разные частоты, и там их можно разделить.

Именно эту задачу и выполняет входной контур — он настроен на частоту принимаемой станции, поэтому во много раз ослабляет мешающий сигнал. При этом входной контур супергетеродина работает в несравненно более выгодных условиях, чем в приемнике прямого усиления. Ведь там нужно ослабить соседнюю станцию, частота которой отличается от принимаемой всего на 10 кгц. В супере входной контур должен ослаблять зеркальную помеху, которая при стандартной промежуточной частоте (465 кгц) отстоит от принимаемой станции на 930 кгц. В некоторых приемниках, обычно высокого класса, для того чтобы совсем «задавить» зеркальную помеху, до преобразователя ставят два контура. В таких приемниках, как правило, имеется собранный на пентоде усилитель высокой частоты, в сеточную цепь которого и включается настраиваемый колебательный контур. Второй контур обычно включен в сеточную цепь лампы преобразователя.

Даже один входной контур, не говоря уже о двух, заметно усложняет систему настройки супергетеродина. Теперь для того, чтобы перестраиваться с одной станции на другую, нужно изменять не только частоту гетеродина, но и резонансную частоту входного контура. Таким образом, даже в самом простом супере имеются как минимум два настраиваемых контура — входной и гетеродинный, и поэтому должно быть два комплекта переключаемых катушек и сдвоенный блок конденсаторов переменной емкости. Для того чтобы настройка входных и гетеродинных контуров всегда была согласованной (принято говорить «сопряженной»), в контур гетеродина включают специальный сопрягающий конденсатор (C_5 , рис. 58, 59), емкость которого на каждом диапазоне различна. Для точного

сопряжения контуров имеются элементы подстройки — сердечники в катушках и подстроечные конденсаторы.

Значительно проще удастся подавить помеху, частота которого равна промежуточной, — для этого в антенную цепь просто включают контур, настроенный на эту частоту. Существует несколько таких контуров — фильтров. Один из них (рис. 62, а) — это последовательный контур $L_2 C_2$, который на резонансной частоте обладает очень маленьким сопротивлением и таким образом замыкает помеху накоротко с антенны на «землю». Второй фильтр называют «пробкой» — (рис. 62, б, в). Он представляет собой параллельный контур, который в отличие от последовательного обладает очень большим сопротивлением на резонансной частоте. Такой контур просто преграждает путь помехе во входную цепь приемника.

Все контуры супера — входные, гетеродинные, контуры ПЧ, антенные фильтры — тщательно настроены на заводе и настройка эта, как правило, не нарушается. Правда, иногда, особенно во время неаккуратной перевозки, может сдвинуться с места какой-нибудь сердечник, и это сразу же вызывает заметное ухудшение чувствительности и избирательности. Точно настроить контуры может только опытный специалист, и нужен для этого специальный генератор сигналов, хотя можно удовлетворительно осуществить настройку и без приборов.

Мы с вами рассмотрели все основные узлы супергетеродина. Теперь неплохо было бы посмотреть, как они выглядят в настоящем радиоприемнике. Давайте попробуем разобрать схему какого-нибудь не очень сложного приемника или радиолы, ну, скажем, приведенную в конце книги схему широко распространенной радиолы «Рекорд-61».



ДАВАЙТЕ ПОПРОБУЕМ!

Когда человек впервые смотрит на схему радиоприемника, ему становится немного не по себе. Слишком много на ней деталей — ламп, сопротивлений, катушек, конденсаторов, слишком сложны соединения всех этих элементов, и кажется, что разобраться во всем этом просто невозможно. В такой момент нужно улыбнуться, сказать: «так, так...» и первым делом посчитать число ламп. Затем подумать о том, что делает каждая из ламп, как получает питание, как связаны между собой каскады. А после этого все пойдет само собой, вы начнете привыкать к схеме, и она перестанет вам казаться устрашающей и непонятной.

В радиоле «Рекорд-61» — пять ламп. На первой 6И1П собран гетеродин (триодная часть лампы) и преобразователь частоты (гептодная часть). Далее следует усилитель ПЧ на пентоде 6К4П. Несколько необычна роль третьей лампы двойного триода 6Н2П. Сразу же обратите внимание на то, что в левом по схеме триоде этой лампы управляющая сетка соединена с анодом, то есть триод искусственно превращен в диод. Отсюда напрашивается вывод, что эта часть лампы используется для детектирования сигнала, так как диоду в приемнике больше делать нечего. Правый по схеме триод занят своим

обычным делом — усиливает напряжение НЧ после детектора и передает его на сетку выходного пентода 6П14П.

В правом нижнем углу схемы вы видите силовой трансформатор Tr_1 (его легко узнать по проводам электрической сети) и рядом с ним мостиковый выпрямитель АВС — 80—260 (анодный выпрямитель селеновый на 80 ма и 260 в). Сетевая обмотка силового трансформатора рассчитана на напряжение 220 в и имеет отвод на 127 в. Переключение напряжений осуществляется перестановкой предохранителя. К секции «127 в» подключен двигатель электропроигрывателя — он рассчитан только на напряжение 127 в. Выключатель приемника Bk_1 разрывает одновременно оба сетевых провода.

Вы, по-видимому, сразу узнали фильтр выпрямителя — он состоит из конденсаторов C_{19} C_{20} и сопротивления R_{20} . В приемнике применена уже знакомая нам (рис. 44, в) система питания анодных цепей, где напряжение на анод выходной лампы снимается с первого конденсатора фильтра, а на все остальные лампы и на экранную сетку L_4 , как обычно, после сопротивления R_{20} .

Схема выходного каскада в основных чертах также знакома нам. Анодной нагрузкой лампы служат два соединенных параллельно громкоговорителя, которые включены в анодную цепь с помощью выходного трансформатора Tr_2 . В катодной цепи лампы вы видите сопротивление R_{15} , на котором образуется напряжение смещения (рис. 39, б). Обратите внимание, что сопротивление R_{15} не заблокировано конденсатором, а это значит, что выходной каскад охвачен отрицательной обратной связью (рис. 50, б). Другая цепь обратной связи проходит через конденсатор C_8 и служит для регулировки тембра в области высших частот (подобно схеме рис. 51). Сопротивление R_5 одновременно выполняет роль утечки сетки. Незнакомо нам лишь сопротивление R_5 , включенное непосредственно в цепь управляющей сетки. Оно повышает устойчивость усилительного каскада и, в частности, предохраняет его от самовозбуждения. Примерно с той же целью включено в сеточную цепь гетеродина (триодная часть L_1) сопротивление R_7 .

Анодная цепь усилителя напряжения НЧ (правый триод L_3) не вызывает никаких сомнений. Здесь мы видим обычную нагрузку R_3 и обычный переходной конденсатор C_7 . Есть знакомый элемент и в цепи катода — это сопротивление смещения R_{12} . Так же, как и R_{15} , оно не зашунтировано конденсатором и поэтому является элементом обратной связи первого каскада усилителя НЧ. Однако это сопротивление входит еще в одну цепь обратной связи, на этот раз в цепь, охватывающую уже весь усилитель. Напряжение обратной связи подается со вторичной обмотки выходного трансформатора (рис. 50, в) через Т-образный фильтр, образованный сопротивлениями R_{14} ,

R_{16} и конденсатором C_{18} . Этот конденсатор отводит на корпус часть переменного тока, причем естественно в большей степени отводит высшие звуковые частоты. Благодаря этому отрицательная обратная связь на высших частотах несколько ослабляется, и в этой области появляется некоторый подъем частотной характеристики. Так компенсируется «завал» высших частот, который происходит в других участках усилителя.

Способ подачи отрицательного смещения в первом каскаде усилителя НЧ также несколько отличается от того, с которым мы встречались раньше. Дело в том, что сопротивление R_{12} является частью делителя анодного напряжения, который образован сопротивлениями R_2 , R_4 и R_{12} . Этот делитель подключен между плюсом (самый верхний на схеме провод) и минусом (шасси приемника). Судя по величине сопротивлений, они делят анодное напряжение примерно в такой пропорции: около 70% падает на сопротивление R_2 , около 30% на R_4 и около 0,5% на R_{12} . Общее анодное напряжение в приемнике «Рекорд-61» составляет 245 в, и значит на сопротивлении R_{12} должно действовать что-то около 1,2 в. «Плюс» этого напряжения на катоде, «минус» — на корпусе. Таким образом, напряжение на нижнем участке делителя является для правого по схеме триода L_3 отрицательным смещением на сетку.

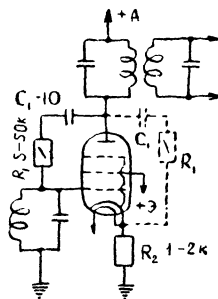
Поскольку мы уже заговорили о делителе напряжения R_2 , R_4 , R_{12} , то сразу же заметим, что с сопротивления R_2 положи-

С МИНИМАЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ

Есть довольно простой путь повышения чувствительности и избирательности супергетеродинного приемника — нужно ввести положительную обратную связь в усилителе ПЧ. Проще всего каким-нибудь способом связать анод и сетку лампы, работающей в этом усилителе. Радиолюбители для этой цели обычно используют специальную катушку, которая содержит несколько витков тонкого изолированного провода. Ее располагают рядом с сеточным контуром (разумеется, внутри экрана) и включают в разрыв анодной или катодной цепи лампы. Можно поступить еще проще — соединить анод с сеткой через RC-цепочку ($R_1 C_1$). Подбирая сопротивление R_1 , легко установить наилучшую глубину обратной связи

Подбор обратной связи нужно

производить очень тщательно. При слишком сильной связи (R_1 слишком мало) в усилителе начинается самовозбуждение, то есть он превращается в генератор. Слишком



слабая связь (R_1 велико) вообще не дает эффекта. Для того чтобы повысить устойчивость усилителя, полезно ввести еще и отрицательную обратную связь, включив в катодную цепь лампы небольшое сопротивление R_2 без шунтирующего конденсатора.

тестное напряжение подается на экранные сетки ламп \mathcal{L}_1 и \mathcal{L}_2 . Согласно нашим расчетам, это напряжение должно составлять примерно 80 в, однако в действительности оно равно всего лишь 42 в. Связано это с тем, что по сопротивлению R_2 проходит общий экранный ток ламп \mathcal{L}_1 и \mathcal{L}_2 и он создает на этом сопротивлении дополнительное падение напряжения — на R_2 теряется не 70%, как мы считали раньше, а 80% общего напряжения. По той же причине смещение на сетку правого триода \mathcal{L}_3 составляет несколько меньше, чем получалось по расчетам, а именно 0,7 в. Экранные сетки ламп \mathcal{L}_1 и \mathcal{L}_2 не только питаются от общего делителя, но даже заземлены для переменного тока через общий конденсатор C_{13} .

Для того чтобы покончить с вопросами питания ламп, заметим, что смещение на сетку \mathcal{L}_2 получают обычным способом — с помощью включенной в катодную цепь цепочки R_{11} , C_{14} . В гетеродине цепочка автоматического смещения R_{10} , C_{11} включена в цепь управляющей сетки триода. Сетка триодной части лампы \mathcal{L}_1 соединена непосредственно с одной из управляющих сеток гептодной части, и поэтому с гетеродина на гептод поступает не только высокочастотный сигнал, но и постоянное отрицательное смещение.

Мы начали знакомство с приемником с конца — рассмотрели систему питания и усилитель низкой частоты. Теперь проследим пути прохождения сигнала, попавшего в антенну. Наступит момент, и оба наши направления сомкнутся. Это произойдет, как вы уже, по-видимому, догадались, в детекторе.

Пройдя через защитный конденсатор C_1 (стр. 100) и фильтр-пробку L_1 , C_{10} , R_9 (рис. 62, б, в), высокочастотный ток попадает на переключатель диапазонов \mathcal{P}_{16} , откуда он получит пугевку в одну из катушек связи с антенной L_9 , L_{13} или L_{17} . Из всех элементов схемы переключателя диапазонов кажутся самыми сложными, однако и в их работе можно легко разобраться, причем для этого в основном нужно только терпение.

Переключатель \mathcal{P}_1 содержит шесть контактных групп, равномерно расположенных на двух круглых панелях \mathcal{P}_{1a} и \mathcal{P}_{16} . В каждой группе имеется свой подвижный контакт (I—VI), который не имеет отдельного вывода во «внешний мир», а лишь определенным образом замыкает неподвижные контакты. В этом отношении наш переключатель отличается от стандартных образцов, где с помощью скользящего ползунка сделан вывод и от самого подвижного контакта. В то же время подвижный контакт, который «висит в воздухе», вы встретите во всех клавишных переключателях, и поэтому система коммутации там очень напоминает нашу «рекордовскую».

Каждый подвижный контакт переключателя \mathcal{P}_1 может замыкать два или три неподвижных. На схеме положение подвижных контактов соответствует диапазону ДВ. При повороте ручки переключателя все подвижные контакты одновременно

но сдвигаются по направлению против часовой стрелки и постепенно проходят положения, соответствующие диапазонам СВ, КВ и, наконец, воспроизведению грамзаписей (положение переключателя $Зв$).

Антенные катушки L_9 , L_{13} , L_{17} коммутируются очень просто — с помощью подвижного контакта VI они поочередно подключаются к фильтру-пробке, то есть включаются в цепь антенны. Подобным же образом катушки входного колебательного контура L_8 , L_{12} , L_{16} вместе со своими подстроечными конденсаторами C_{27} , C_{31} и C_{36} с помощью подвижного контакта III подключаются к конденсатору C_{24} , который непосредственно соединен с управляющей сеткой лампы. Поскольку на всех диапазонах во входном контуре используется один и тот же конденсатор настройки C_{35} , то он не переключается и «навски» соединен с сеткой (опять-таки через C_{24}). Это означает, что конденсатор настройки входит во входной контур независимо от того, какая в него включается катушка.

Точно так же с помощью подвижного контакта II к сетке триодной части лампы L_1 через конденсатор C_{22} подключается колебательный контур гетеродина, в который входит одна из контурных катушек L_7 , L_{11} или L_{15} . К каждой катушке подключены ее «собственные» сопрягающий (C_{21} , C_{29} или C_{32}) и подстроечный (C_{25} , C_{30} или C_{33}) конденсаторы. Для увеличения начальной емкости контура на длинных волнах параллельно подстроечному конденсатору добавлен еще конденсатор постоянной емкости C_{26} .

В гетеродине применена еще не знакомая нам схема параллельного питания. Здесь постоянная и переменная составляющие анодного тока разделяются с помощью фильтра R_1 C_{23} . Постоянная проходит через R_1 и в нагрузку не попадает, а переменная с анода лампы сразу же отводится в нагрузку через C_{23} . Анодной нагрузкой в гетеродине является одна из катушек обратной связи L_6 , L_{10} или L_{14} .

Прежде чем говорить о том, что делают в переключателе диапазонов подвижные контакты IV и V, отметим такой очевидный факт—в анодную цепь преобразователя частоты включен двухконтурный фильтр L_2 , C_2 , L_3 , C_3 , с которого напряжение ПЧ подается на управляющую сетку лампы L_2 . В анодную цепь этой лампы в свою очередь включен второй двухконтурный фильтр L_4 , C_4 , L_5 , C_5 , с которого напряжение ПЧ подается на управляющую сетку лампы L_2 . В анодную цепь этой лампы включен второй двухконтурный фильтр L_4 C_4 , L_5 C_5 , с которого сигнал подается прямо на детектор. Слово «прямо» мы применили в данном случае не совсем точно, так как в цепь детектора входит еще и переключатель диапазонов.

Нагрузка детектора, как обычно (рис. 23, $к$), состоит из двух частей: защитного сопротивления R_8 и основного R_{19} . Последнее одновременно играет роль регулятора громкости — с

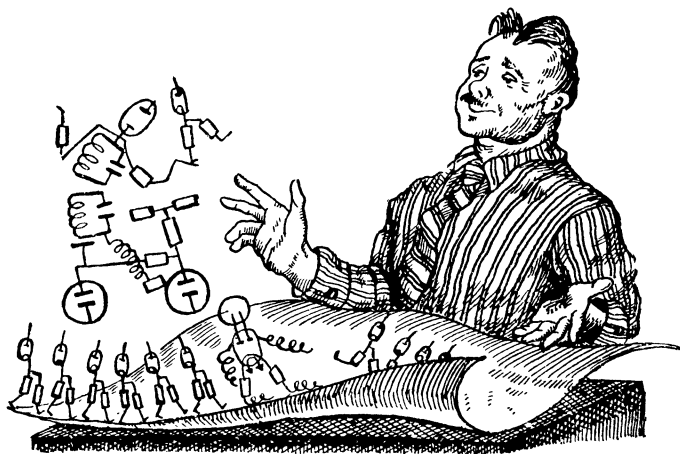
его подвижного контакта через разделительный конденсатор C_{15} (он разделяет постоянную и низкочастотную составляющие протектированного сигнала) напряжение НЧ подается прямо на вход усилителя низкой частоты, то есть на управляющую сетку лампы правого триода L_3 . Сопротивление R_{13} — это обычная утечка в сеточной цепи.

Сопротивления R_8 и R_{19} обязательно должны быть соединены между собой, и они действительно соединены, но не непосредственно, а с помощью подвижного контакта IV переключателя диапазонов. На средних и коротких волнах такое соединение будет осуществлять уже подвижный контакт V. А вот если повернуть переключатель еще дальше, то регулятор громкости R_{19} будет отключен от R_8 , то есть выйдет из детекторного каскада и взамен этого подключится к звукоусилителю $Zв$, несколько зашунтированному сопротивлением R_{21} . При этом усилитель ПЧ сможет воспроизводить грамзаписи, а высокочастотный тракт радиолы (ничего не поделаешь!) будет работать вхолостую.

В приемнике радиолы «Рекорд-61» имеется система АРУ (стр. 172 рис. 61). Постоянное напряжение с нагрузки детектора через фильтр $R_{18} C_{12}$ и контурную катушку L_3 подается «минусом» на управляющую сетку лампы L_2 . На первую управляющую сетку геттода L_1 «—» напряжения АРУ попадает через дополнительное сопротивление R_{17} . Это сопротивление нужно для того, чтобы первая сетка L_1 не оказалась замкнутой на корпус через конденсатор фильтра C_{12} . Конденсатор C_{24} защищает сопротивление R_{17} от замыкания по постоянному току через небольшое сопротивление одной из контурных катушек, например L_8 .

Вот мы и разобрали всю «страшную» схему настоящего приемника и при этом не оставили без внимания ни одной его детали, ни одной «запутанной» цепи.

Конечно, это далеко не самая сложная схема супергетеродинного приемника, но в то же время и не самая простая. Для вас такой разбор был своего рода тренировкой — теперь вам легче будет разбирать другие подобные, а может быть, и более сложные схемы. Но главное даже не в этом. Главное, по-видимому, состоит в том, что в процессе знакомства со схемой радиолы и особенно в процессе большой подготовительной работы вы познакомились и со многими общими идеями построения радиоэлектронных схем, а также с целым рядом широко распространенных конкретных схемных элементов. Все это может оказаться очень полезным, когда вам понадобится (а может быть, и захочется?) поближе познакомиться не только с радиоприемником, но и с другими электронными приборами и аппаратами.



«МЫ С ВАМИ ГДЕ-ТО ВСТРЕЧАЛИСЬ...»

Эту фразу вы произнесете, наверно, не раз, когда будете знакомиться с самыми различными радиоэлектронными приборами — карманными транзисторными приемниками, телевизорами, медицинской аппаратурой, вычислительными машинами. «Мы с вами где-то встречались...» Это — и в адрес многих электрических цепей, схемных элементов, деталей и способов их соединения. Как старых знакомых, встретите вы выпрямитель, детектор, фильтры, преобразователи спектра, усилительный каскад, делитель напряжения, трансформатор, одним словом, все, с чем вы познакомились в радиовещательном приемнике. Конечно, заранее трудно предвидеть, где и в каком виде вы повстречаете своих новых знакомых, но мы все же попробуем заглянуть в будущее и предсказать несколько подобных встреч.

...В супергетеродинном приемнике электронная лампа выступала в трех ролях — усилителя, генератора и выпрямителя (детектора). Нужно сказать, что все три роли, а особенно первая, это классический репертуар — с ним лампа выходит на любую арену, появляется в самых разных радиоэлектронных приборах.

Задача усиления возникает очень часто потому, что «исходным материалом» в большинстве приборов является довольно слабый сигнал, например, сигнал, который дает микрофон, антенна приемника или телевизора, фотоэлемент звуковой киноустановки, воспроизводящая головка магнитофона, датчики давления, температуры, ускорения и другие «органы чувств» электронных автоматов.

Многокаскадные усилители, так же, как отдельные усилительные каскады, могут очень сильно отличаться друг от друга. Их схема и конструкция зависит от мощности усиливаемого сигнала, его частоты и формы кривой, от типа примененных ламп и источников их питания, от того, какой сигнал нужно получить на выходе усилителя, и от многих других факторов. Так, например, в телевизорах и радиолокаторах вы встретите широкополосные усилители, которые равномерно пропускают сигналы очень широкого спектра частот — от нескольких герц до нескольких мегагерц. Типичным элементом таких усилителей являются разнообразные *RC* и *LC* фильтры для корректировки различных участков частотной характеристики. Специфические черты есть и в усилителях сверхвысоких радиочастот — сотни и тысячи мегагерц. Здесь можно встретить не только необычные контуры — катушки, содержащие 2—3 витка, или даже небольшие отрезки проводов, но и специальные лампы, как правило, триоды, а также специфические электровакуумные приборы, например, клистроны и магнетроны. Особый класс составляют мощные и сверхмощные усилители, которые применяются в больших радиоузлах и радиопередатчиках. Здесь главное внимание уделяется режиму ламп, повышению коэффициента полезного действия, уменьшению различных видов потерь, в частности, потерь энергии в анодной цепи. В некоторых усилителях выходные лампы развивают мощность в десятки и даже сотни киловатт! У многих ламп анодные токи достигают такой величины, что приходится применять специальную систему водяного охлаждения анода.

И несмотря на все эти различия, усилительные каскады на электронных лампах очень напоминают друг друга. В любом из них вы найдете знакомую систему питания, цепь утечки сетки, элементы связи с предыдущими и последующими каскадами и, конечно, нагрузку — сопротивление, контур, дроссель, трансформатор или какой-нибудь другой элемент, обычно включенный в анодную цепь.

В ряде случаев вы можете встретить не только знакомый элемент усилителя, но и весь усилитель целиком. Так, в приемниках, магнитофонах, телевизорах, небольших радиоузлах

ЗЕМЛЯ!

На задней стенке приемника рядом с гнездом А — «антенна» вы увидите гнездо З — «заземление». Заземление — это провод, зарытый в землю или присоединенный к тщательно зачищенной водопроводной трубе. Для детекторных и батарейных приемников заземление необходимо, а вот сетевые пре-

красно обходятся без него. Правда, и у них заземление может дать некоторый эффект, например, несколько снизить уровень фона. У некоторых приемников и радиол («Москвич-В», «Заря», «Арз-49», «Рекорд-47», «Рекорд-52» и др.) сеть непосредственно связана с металлическим шасси, и поэтому подключать к нему заземление ни в коем случае нельзя.

и кинопередвижках применяются усилители низкой частоты, мало чем отличающиеся один от другого. Во всяком случае в комбинированных радиостановках — их часто называют радиокомбайнами — имеется один общий усилитель НЧ, который, так же как и в радиоле, прекрасно обслуживает «всю компанию», то есть просто переключается с одного источника низкочастотного сигнала на другой.

...Скромный, маломощный гетеродин супера является представителем могучего отряда ламповых генераторов. Этот отряд хотя и входит в армию усилителей (генератор — это не что иное, как усилитель с сильной положительной обратной связью), но занимает в ней совершенно особое положение.

Знакомые схемы генераторов вы встретите в радиопередатчиках, где они являются источниками высокочастотных колебаний и задают несущую частоту. Генератор — это основа многих контрольных и измерительных приборов, в частности приборов для настройки приемников и телевизоров, для измерения емкости, индуктивности и частоты. Специальные генераторы, которые дают напряжение пилообразной формы, имеются в каждом телевизоре — с их помощью электронный луч строку за строкой прочерчивает экран, осуществляя развертку телевизионного изображения. Вспомогательный генератор сверхзвуковой частоты (20—40 кгц) имеется почти в каждом магнитофоне — он подмагничивает пленку во время записи, а также стирает старые записи.

Бывают случаи, когда среди обычных знакомых нам усилителей появляется «перебежчик» — в каком-нибудь каскаде, а иногда и в нескольких каскадах из-за повреждений или нарушений в схеме возникает не запланированная цепь положительной обратной связи и усилитель превращается в генера-

ЛУЧ СВЕТА В МИРЕ НЕВИДИМОГО

Ток измеряют амперметром, напряжение — вольтметром, сопротивление — омметром. Иногда все три прибора объединяют в так называемом авометре. С помощью авометра можно многое узнать об

электрических цепях, проверить соединения, измерить режимы и обнаружить невидимые отклонения от нормы.

Если вы умеете пользоваться авометром и анализировать результаты измерений (это, пожалуй, самое главное), то можете смело браться за ремонт приемника.



тор. В приемнике подобная «измена» часто сопровождается сильным воем и свистом, сильными нелинейными искажениями. Борьба с самовозбуждением усилителей требует большого опыта, хотя иногда и удается вернуть каскад в нормальное состояние сравнительно простыми средствами, заменив один из конденсаторов развязки, устранив повреждение в какой-нибудь цепи, особенно часто обрыв провода, соединенного с корпусом. Применяют против «перебежчика» и крайние меры — сажают его на голодный паек, понижая анодное или экранное напряжение.

...Выпрямитель — ламповый (кенотронный) или полупроводниковый, собранный по одной из знакомых нам схем — однополупериодной, двухполупериодной или мостовой — вы встретите в любом радиоэлектронном устройстве, которое питается от сети переменного тока. Там же вы найдете и фильтры, порой более простые, а порой более сложные, чем в приемнике. Даже для такого, казалось бы, простого устройства, как выпрямитель, нельзя назвать две-три схемы, монополюсь применяемые во всех случаях жизни. Существуют десятки разновидностей выпрямителей — высоковольтные, многофазные, с удвоением напряжения, бестрансформаторные, стабилизированные и ряд других. Однако во всех этих системах используется рассмотренный нами основной метод выпрямления — преобразование переменного тока в пульсирующий с последующим выделением постоянной составляющей.

...Лампа наряду с «классическим репертуаром» выполняет еще и много других ролей. Так, например, в супергетеродине она осуществляет основную для этого приемника операцию — преобразование частоты. В радиопередатчике с помощью лампы осуществляется модуляция высокочастотного сигнала. В вычислительных машинах лампы «запоминают» числа, представленные сериями электрических импульсов, производят с ними различные математические операции. Одним словом, познакомившись с лампой, вы приобрели способного и умелого друга, настоящего мастера на все руки. Но это еще не все.

Мы видели электронную лампу — оптический индикатор настройки. Своеобразной электронной лампой можно считать и кинескоп телевизора. Если мы пойдем дальше, то найдем много общего между лампой и электронным микроскопом и даже синхрофазотроном. Познакомившись с электронной лампой, вы вошли в чудесный мир электронных приборов, в которых, так же как и в простеньком триоде, главные процессы — это создание потока свободных электронов и управление ими с помощью электрических и магнитных полей.

...Часто встречались нам в приемнике электрические фильтры — с их помощью мы разделяли постоянную и переменную составляющие в цепях анодного выпрямителя и детектора, в

анодных, экранных, катодных и сеточных цепях ламп. Более тонкую работу — отделение низкочастотной составляющей — выполняли фильтры в детекторе и системе АРУ. Фильтры помогли нам корректировать частотную характеристику с помощью регулятора тембра и цепей частотно зависимой отрицательной обратной связи. Наконец, фильтрами смело можно назвать колебательные контуры, помогающие выделять сигналы определенной частоты.

Любой радиоэлектронный прибор — это своеобразный мир электрических сигналов. Здесь они живут своей сложной жизнью — усиливаются, ослабляются, выделяют мощность, создают новые сигналы, меняют форму, управляют, суммируются в общих цепях и, наоборот, разделяются на составляющие. Последний процесс как раз и осуществляется с помощью фильтров.

Знакомые *RC* фильтры вы будете встречать буквально на каждом шагу, в любом радиоаппарате. Они помогают выделить синхронизирующие импульсы в телевизоре, преграждают путь переменным составляющим в цепи питания и таким образом предотвращают самовозбуждение, ликвидируют «паразитные» обратные связи усилителей, не пропускают постоянные составляющие туда, куда им «вход строго запрещен», компенсируют завал частотной характеристики магнитофонных головок, сглаживают пульсацию выпрямленного напряжения, словом, выполняют свою скромную и важную работу внимательных контролеров и регулировщиков движения сигналов. Нередко столкнетесь вы и с колебательными контурами, особенно там, где «живут» высокочастотные сигналы. Несколько реже будут попадаться на глаза *LC* фильтры, поскольку катушка все-таки деталь сравнительно дорогая и индуктивный фильтр по возможности стараются заменить емкостным. Где бы вам ни встречались электрические фильтры, какие бы сложные формы они ни приобретали, помните, что элементы фильтра всегда подчиняются одним и тем же незыблемым законам — сопротивление конденсатора с увеличением частоты уменьшается, сопротивление катушки увеличивается, а резонансная частота колебательного контура определяется произведением его индуктивности и емкости.

...Называть трансформатор элементом радиоэлектронной аппаратуры не очень-то удобно — он впервые появился в электроэнергетике и по сей день занимает там ведущее положение. Правда, в энергетике у трансформатора довольно узкий круг обязанностей — в основном он повышает напряжение так, чтобы можно было передавать электроэнергию на большие расстояния с небольшими потерями, а затем понижает напряжение до сравнительно безопасной и удобной потребителям величины. Подобные функции выполняет трансформатор и в электронной аппаратуре — вы это видели на примере сило-

вого трансформатора приемника, обеспечившего пониженное напряжение накала и повышенное напряжение для анодного выпрямителя. Силовые трансформаторы, так же как и выпрямители, вы найдете почти в любом электронном устройстве, получающем питание от сети переменного тока.

Кстати, в радиоле «Рекорд-61» можно заметить следы еще одного представителя семейства трансформаторов—автотрансформатор. Вы видите, что электродвигатель радиолы получает пониженное напряжение не от отдельной обмотки, а от ответвления сетевой. Если допустить, что металлическое шасси радиолы будет непосредственно соединено с одним из проводов сети (а некоторые конструкторы, к сожалению, действительно идут на это), то можно вместо трансформатора применить автотрансформатор — выбросить все вторичные обмотки и вместо них сделать соответствующие отводы от сетевой. В приемниках и другой бытовой аппаратуре автотрансформаторы встречаются редко. Никакая экономия провода и стали не может компенсировать нарушение, пусть даже небольшое, условий безопасности радиослушателя. Случайно тронув соединенное с сетью шасси, можно попасть под напряжение. Часто встречается автотрансформатор в виде отдельного прибора, который позволяет в некоторых пределах повышать или понижать напряжение сети.

Радиоэлектроника научила трансформатор многим новым профессиям. Вы сами видели, как в выходном каскаде усилителя НЧ с помощью небольшого сопротивления громкоговорителя трансформатор сумел удовлетворить большие запросы анодной цепи лампы. Подобные задачи — согласование генератора с нагрузкой — трансформатору приходится нередко решать в электронной аппаратуре, и на этот случай для него даже придумано специальное название—согласующий трансформатор. Еще с одной профессией трансформатора мы встретились в двухполупериодном выпрямителе и двухтактном выходном каскаде, где с помощью разделенной на две части обмотки удалось получить два противоположных по фазе напряжения. Наконец, в гетеродине, преселекторе и фильтрах ПЧ мы видели, как трансформаторная связь используется для передачи сигналов из одной цепи в другую с помощью магнитного поля, без непосредственного соединения этих цепей.

...В радиоле нам повстречались и представители «хитрого дела» — коммутации. Это были выключатель сети, переключатель сетевых напряжений и, конечно, переключатель диапазонов. В будущем вы, по-видимому, встретите и более сложные переключающие системы, по сравнению с которыми даже переключатель диапазонов нашей радиолы может показаться сущим пустяком. Возьмите, к примеру, переключатель программ телевизора или тот же переключатель диапазонов в приемнике высокого класса с несколькими растянутыми коротковол-

новыми диапазонами, наконец, небольшую автоматическую телефонную станцию, где имеется множество коммутирующих элементов. Однако даже в самых громоздких переключающих системах используются довольно простые принципы коммутации — закорачивание и переключение, и вся сложность обычно связана только с количеством коммутируемых контактов. Вы сумеете разобрать любую сложную систему переключений, если поняли, как работают простые переключатели и если, конечно, мобилизуете на это дело свое внимание и память.

...Мы уже говорили, что все современные радиовещательные приемники строятся по супергетеродинной схеме. Но принципы супергетеродинного приема используются не только в радиовещательных приемниках и даже не только в приемниках. По супергетеродинной схеме построены все современные телевизоры. Преобразование частоты широко используется во многих контрольных и измерительных приборах и даже в электронных музыкальных инструментах.

Один из таких инструментов был изобретен еще в двадцатых годах советским инженером Терменом. Основа «Терменвокса» — два высокочастотных генератора, с которых, так же, как и в супере, напряжение подается на преобразователь частоты. В анодную цепь преобразователя включен фильтр, выделяющий разностную частоту. В контуре одного из генераторов имеется необычный элемент настройки — длинный металлический стержень. Он-то и служит своеобразной клавиатурой инструмента. Музыкант перемещает вблизи этого стержня руку и таким образом меняет его емкость относительно земли, а значит, меняет частоту одного из генераторов.

Частоты обоих генераторов «Терменвокса» в обычном, нерабочем состоянии равны, и поэтому никакого сигнала разностной частоты нет. По мере того как изменяется частота одного из генераторов, на выходе преобразователя появляется и разностная частота, причем сначала она очень мала — единицы и десятки герц, а затем постепенно увеличивается. Низкочастотный сигнал с выхода преобразователя подается на усилитель НЧ, а затем воспроизводится громкоговорителями.

...Из всех своих новых знакомых вы, пожалуй, чаще всего будете сталкиваться со скромными и незаметными тружениками — делителями напряжения, шунтами, гасящими сопротивлениями. Они — везде, где нужно погасить избыток мощности, ответить лишний ток, разделить на части напряжение. Можно было бы многое рассказать о простейших элементах электрической цепи, о том, как они выполняют свои обязанности в самой различной конкретной обстановке, но, пожалуй, мы не будем этого делать — рассказ получится слишком однообразным, в нем все время будут повторяться ссылки на основные законы электротехники, которым мы уже посвятили немало страниц в самом начале книги.

Скромный германиевый диод ввел нас в замечательный мир полупроводниковых приборов. Их применение в технике началось сравнительно недавно, а сегодня уже трудно перечислить все профессии полупроводников. Они преобразуют световую и тепловую энергию в электрическую и, наоборот, с помощью электричества создают тепло и холод. Тонкая технология на основе полупроводниковых кристаллов открывает в радиотехнике новую эпоху — эпоху твердых схем, в которых роль усилителей, конденсаторов, сопротивлений и других элементов выполняют отдельные молекулы или их небольшие группы. Полупроводники можно встретить и в обычном фотоэкспонометре, и в квантовом генераторе — источнике «игольчатых» лучей, и в термоэлектрических преобразователях — в приборах, которым предстоит открыть для человека бескрайние океаны энергии солнечных излучений. Но, конечно, чаще всего, по крайней мере сегодня, с полупроводниками встречаются радиоспециалисты. Они уже не хотят и даже не могут обходиться без полупроводниковых выпрямителей и экономичных усилительных приборов — транзисторов.

Транзистор фактически представляет собой два полупроводниковых диода с общей зоной n (транзистор $p-n-p$) или с общей зоной p (транзистор $n-p-n$), то есть с двумя pn -переходами. Один из них можно сравнить с участком катод-сетка электронной лампы, другой — с участком катод-анод.

В усилителе и генераторе транзистор делает примерно то же, что и электронная лампа, — с его помощью слабый сигнал управляет энергией источников питания и таким образом создает свою «мощную копию». Процессы управления движущимися зарядами в транзисторе резко отличаются от того, что происходит в лампе, однако ламповый и транзисторный усилительные каскады имеют много общего. В обоих случаях по-

НАЧИНАЙТЕ С КОНЦА

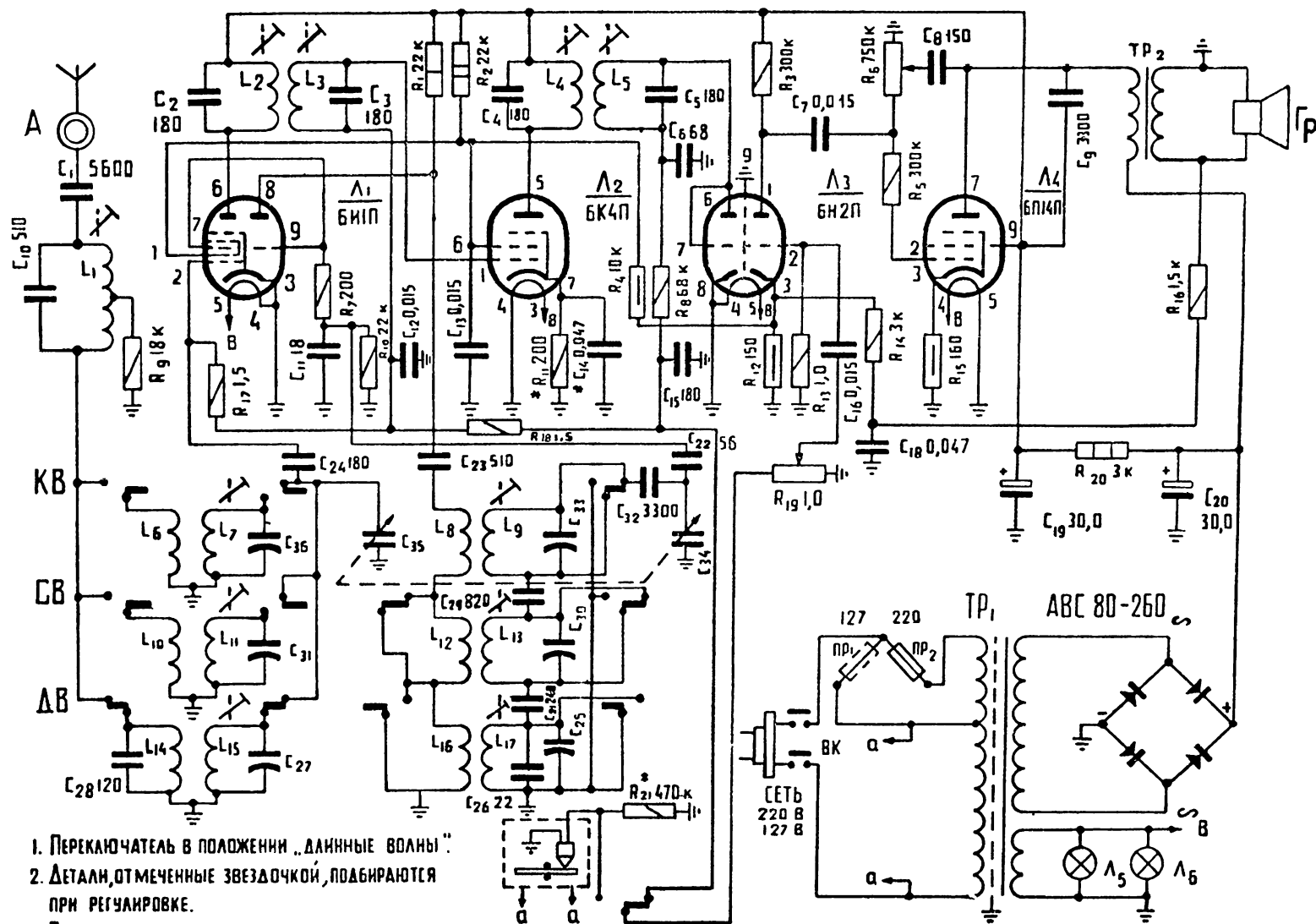
Именно так нужно поступать, когда вы пытаетесь обнаружить, почему молчит приемник. Для начала троньте пальцем гнездо звукоосциллятора — если приемник «зарычит», значит усилитель низкой частоты работает и неисправность нужно искать в высокочастотном тракте. Если же усилитель НЧ «мертв», то отправляйтесь в самый конец усилительного тракта — проверьте цепи громкоговорителя и выходного трансформатора, посмотрите, подается ли питание на лампы, ну и, конечно, исправны ли они.

Обычно неисправность в приемнике устраняется довольно просто — чаще всего дело сводится к устранению обрыва или нарушения контакта, к замене лампы, конденсатора или сопротивления. Однако найти место, где именно произошло повреждение, дело довольно сложное и трудоемкое. Даже в сравнительно простом приемнике имеются десятки деталей, сотни различных соединений. Где искать повреждение, с какого каскада начать?.. Если перед вами встанет такой вопрос, поступайте как опытные мастера — начинайте с конца.

мимо самого управляющего прибора в усилительном каскаде вы обязательно встретите нагрузку, цепи смещения и утечки, фильтры для разделения постоянной и переменной составляющих, элементы межкаскадной связи и, конечно, источники питания. Правда, когда идет речь о транзисторном усилителе, то об источниках питания нужно говорить в единственном числе. В отличие от лампы, которой нужно «подать на обед» как минимум два напряжения — накальное и анодное, транзистор удовлетворяется только одним, да и то очень небольшим постоянным напряжением, чаще всего 6—9 в. Такая неприхотливость — одно из главных достоинств транзистора. Оно приобретает особое значение в переносной аппаратуре с питанием от батарей. Современный транзисторный приемник, например, по весу и габаритам оказывается меньше, чем одна только анодная батарея лампового приемника.

Транзисторы уже освоили почти все ламповые профессии. Они применяются на низких, высоких и даже на сверхвысоких частотах в усилителях, генераторах, в преобразователях частоты. Схемы этих каскадов очень напоминают аналогичные ламповые схемы, но, конечно, имеют целый ряд специфических особенностей. Для того чтобы понять специфику транзисторных схем, нужно прежде всего познакомиться с принципом работы транзистора, с его параметрами и способами включения в усилительный каскад. В процессе такого знакомства вам придется очень часто вспоминать об электронных лампах и ламповых усилителях, с которыми вы уже встречались в радиоприемнике.

Знакомые вам элементы, детали и узлы радиовещательного приемника — это типичные представители радиоэлектронной техники — их можно встретить практически во всех электронных приборах и аппаратах. Однако главная заслуга приемника не в том, что он познакомил вас с весьма богатым набором своих составных частей. Главное, по-видимому, в том, что на примере супергетеродина вы познакомились с идеями и методами радиоэлектроники, с принципами построения схем с многогранной «жизнью» сигналов в электрических цепях. Если это действительно так, то ваш радиоприемник полностью справился со своей трудной задачей и можно считать, что время, затраченное на знакомство с ним, не пропало даром.



1. Переключатель в положении „длинные волны“.
2. Детали, отмеченные звездочкой, подбираются при регулировке.
3. В отдельных партиях могут иметь место некоторые изменения схемы и данных деталей.

