

ОТ ДЕТЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА ДО СУПЕРТЕТЕРОДИНА



Р. СВОРЕНЬ

# ШАД ЗА ШАДОМ



Сворень Рудольф Анатольевич

«Шаг за шагом.

От детекторного приемника до супергетеродина»

Предисловие

Весной 1959 года в популярном журнале «Радио» начала печататься серия статей «Шаг за шагом», которые и легли в основу этой книги.

Статьи «Шаг за шагом» сразу же привлекли внимание советских и зарубежных радиолюбителей четким и образным языком, продуманными иллюстрациями, стремлением автора не обходить, не «затуманивать» сложных вопросов и прежде всего говорить о главном.

Но, пожалуй, что больше всего обращало на себя внимание — это совершенно новый подход к рассказу для начинающих радиолюбителей.

С каждым годом все больше и больше ребят начинают заниматься радиолюбительством, и перед каждым из них неизбежно встает вопрос: с чего начать, как приступить к этому увлекательному, но сложному делу?

Некоторые считают, что начинать нужно с изучения основ радиотехники. Эти радиолюбители прежде всего запасаются книгами о том, как работают радиопередатчики, приемники, телевизоры, магнитофоны. Другая часть любителей думает, что изучение теории — дело второстепенное. Они «берут быка за рога» — достают схемы и чертежи и пытаются сразу же построить усилитель или приемник, причем, как правило, «самый хороший».

По-видимому, оба этих направления представляют собой крайности. Опыт показывает, что самая лучшая школа для радиолюбителя — это практическая работа, сочетаемая с тщательным изучением схемы и разбором принципа действия того радиоустройства, над которым любитель работает. Мастерство радиолюбителя — это всегда результат упорного, кропотливого труда и глубоких знаний. Для того чтобы работать творчески, создавать новые схемы и конструкции, для того чтобы научиться тщательно налаживать радиоаппаратуру, безошибочно находить неполадки в неисправных приемниках или телевизорах, — нужно многое знать и уметь. Нужно уметь намотать контурную катушку и отыскать нужные выводы обмоток трансформатора, разметить шасси и разместить на нем детали, аккуратно выполнить монтаж и подобрать нужные режимы ламп. Нужно знать основные физические процессы в усилителе или генераторе, понимать, какую роль в работе радиоустройств играют элементы, их схемы, как проходят по различным цепям переменные и постоянные токи, как влияет на работу того или иного узла изменение входящих в него сопротивлений, замена конденсаторов, перестройка контуров.

Именно так и подошел к вопросу Р. Сворень, создавший книгу, в которой гармонически сочетаются своего рода руководство для практических работ с популярным рассказом об основах радиотехники. В книге радиолюбителю предлагается несколько конструкций для самостоятельного изготовления, начиная от самого простого детекторного приемника, в котором имеются всего две детали, и кончая многоламповым супергетеродином. К постройке супергетеродина любители приходят постепенно, действительно «шаг за шагом», модернизируя свой простейший приемник, добавляя к нему все новые и новые узлы, усложняя и совершенствуя его схему. При этом появление каждого нового схемного элемента, каждой новой детали как-то незаметно и в то же время неотделимо связано с коротким рассказом о ее назначении, принципе действия и области применения. Таким

образом к концу работ радиоловитель не только создает вполне современный радиоприемник, но приобретает много полезных знаний, пожалуй, даже стройную систему знаний, которая является прекрасным фундаментом для дальнейшей самостоятельной работы.

Книга «Шаг за шагом» заметно отличается от серии статей, опубликованных в журнале «Радио». Автор переработал многие основные разделы, заново продумал почти все иллюстрации, ввел много новых рисунков и в том числе больше двухсот весьма полезных справочных листков и, наконец, написал две новые главы: первую — об основах электротехники и последнюю — о возможных усовершенствованиях приемника и дальнейших путях самостоятельной работы радиоловителей.

Можно не сомневаться в том, что эта книга поможет вам сделать первый шаг на пути в радиоэлектронику. А сделав первый шаг, вы, конечно, уже не сможете остановиться — ведь впереди у вас самодельные радиостанции, с помощью которых можно завести друзей на всех континентах планеты, самодельные телевизоры, магнитофоны и карманные приемники, управляемые по радио модели самолетов и кораблей, «умные» электронные автоматы и много других замечательных вещей.

Успехов вам, дорогие друзья!

Председатель Федерации радиоловительского спорта СССР,

Герой Советского Союза

Э. Кренкель

Глава 1

## НЕМНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ

О мае 1895 года замечательный русский физик Александр Степанович Попов продемонстрировал большому собранию ученых свое изобретение — действующий прибор для приема и регистрации электромагнитных волн, то есть то, что мы сейчас называем радиоприемником. А менее чем через год А. С. Попов построил радиопередатчик и осуществил передачу первых в мире радиограмм. Так родился «беспроволочный телеграф», первенец радиотехники, которая за шестьдесят семь лет своего существования сделала множество замечательных подарков всем без исключения областям науки и техники.

Многие годы радиотехника развивалась как один из разделов электротехники — науки об электрических и магнитных явлениях, об их практическом использовании. На первых порах даже не было таких профессий, как радиоинженер или радиотехник, и радиоспециалистов называли просто электриками, прибавляя, правда, слово «слаботочник». Лишь через двадцать — тридцать лет после своего рождения радиотехника сформировалась как самостоятельная область знаний и даже, более того, дала толчок развитию таких важных научных и технических отраслей, как телевидение, радиолокация, вычислительная техника, радиоастрономия, радионавигация и др.

Но, став самостоятельной областью науки, радиотехника, или, как мы сейчас говорим, радиоэлектроника, не порвала, да и не могла порвать своих связей с электротехникой. Ведь работа радиоэлектронных приборов и аппаратов основана на электрических и магнитных явлениях, а процессы, которые происходят в самых сложных радиоустройствах и в мельчайших их элементах, подчиняются строгим законам электротехники.

Во всех учебных заведениях будущие радиоспециалисты тщательно изучают основы электротехники. И радиоловителью, незнающему электротехники, трудно разобраться даже в

самых простых радиоустройствах.

Именно поэтому мы начинаем свой рассказ о работе и устройстве радиоприемника с краткого знакомства с некоторыми основными положениями электротехники. Конечно, на нескольких страницах подробно разбирать все ее законы мы не можем. Да это, пожалуй, и не нужно, так как эти вопросы очень хорошо разобраны в специальных книгах, например, «Курс электротехники» Д. Максимова, «Электротехника для радиста» И. Жеребцова и др. Кроме того, электричеству посвящены большие разделы в учебниках физики для 7 и 10 классов средней школы.

С некоторыми из элементов электротехники мы познакомимся по мере того, как будем изучать и строить приемники. Некоторые вопросы нам придется рассмотреть с самого начала. ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО?

Многие из вас сочтут этот вопрос до смешного ясным, но, попытавшись ответить на него, поймут, что это очень и очень сложно. И все же мы коснемся вопроса о том, что такое электричество, хотя бы для того, чтобы вы лишней раз над ним задумались.

Много тысячелетий живет человек на нашей планете. Сталкиваясь в своей практической деятельности с окружающим миром, он твердо усвоил такие понятия, как вещество, движение, объем, вес, температура и другие. Зрение, обоняние, слух, осязание — этот могучий арсенал, полученный от природы, — позволили человеку воспринимать мир в бесконечном многообразии вещей и явлений.

Однако уже первые философы и ученые убедились в том, что картина мира, нарисованная в сознании человека, является далеко не полной, что наши органы чувств не дают возможности непосредственно воспринять многие свойства вещества и целый ряд физических явлений.

...Натертая шерстью палочка янтаря притягивает мелкие лоскутки шелка. Под действием собственного веса эти лоскутки должны были бы падать вниз, но какая-то «особая» сила, исходящая из натертой палочки, удерживает их. Этот простейший опыт заставил человека обратить внимание на одно из недоступных непосредственному восприятию явлений природы, которое было названо электричеством. Такое название происходит от греческого слова «электрон», что означает «янтарь». О натертой палочке янтаря и о других предметах, у которых проявляются электрические свойства, говорят, что они обладают электрическим зарядом (рис. 1)[1].

Рис. 1. Натертая о шерсть гребенка приобретает особые свойства, которые называются электрическим зарядом.

Стрелка компаса еще несколько тысячелетий тому назад познакомила людей с другим новым для них явлением — магнетизмом (рис. 2).

Рис. 2. Простейшие опыты с обычным компасом знакомят нас с другим особым свойством вещества — магнетизмом.

Слова «магнетизм», «магнит» происходят от названия находящегося в Малой Азии города Магнезия, вблизи которого имелись залежи железной руды, обладающей магнитными свойствами.

Электрический заряд и магнетизм — это совершенно особые свойства вещества, которые существуют наряду с такими хорошо известными нам свойствами, как вес и объем. Уже совсем недавно при изучении атома было открыто еще одно принципиально новое явление — были обнаружены так называемые внутриядерные силы, которые по своей природе не похожи ни на силу тяжести, ни на электрические, ни на магнитные силы.

Нет никакого сомнения в том, что принципиально новые качества вещества, новые, недоступные непосредственному восприятию формы существования материи будут обнаруживаться нами и в дальнейшем по мере все более углубленного знакомства с природой. И при этом нам всякий раз придется я дополнять наше представление об окружающем мире новыми понятиями, взятыми из опытов или из проверенных практикой теоретических исследований. Конечно, очень трудно вносить поправки во взгляды, которые складываются годами, но другого пути нет! Каждый, кто стремится проникнуть в тайны природы, всякий, кто стремится освоить огромные достижения современной физики, должен прежде всего приучить себя к мысли о том, что мир намного сложнее и богаче, чем это кажется с первого взгляда.

Уже простейшие опыты говорят о том, что электричество может служить человеку. Если наэлектризованная палочка притягивает клочки шелка или бумаги, то почему нельзя повторить этот опыт в больших масштабах: например, заставить большие наэлектризованные предметы двигать грузы или приводить в движение тяжелые прессы и молоты?

Конечно, все это возможно, но в использовании электрической энергии техника пошла совсем по другому пути: в качестве «работающих элементов» были выбраны самые маленькие заряженные частицы и в первую очередь электроны. Такие частицы, обладающие электрическими свойствами, для краткости называют просто электрическими зарядами.

### ВЕЛИКАЯ АРМИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Если мы начнем дробить на мелкие кусочки какое-либо вещество, например сахар, то в итоге получим самый микроскопический кусочек этого вещества, называемый молекулой. Молекулу сахара, впрочем, как и любую другую, тоже можно разделить на составные части, но это уже будет не сахар. Для того чтобы сказанное стало несколько понятнее, представьте себя, что вам нужно город разделить на районы. Самый маленький район, который вы сможете получить, будет один дом — «молекула» большого города. Можно, конечно, и дом разобрать на составные части: кирпичи, балки, бетонные плиты, листы кровельного железа, оконные рамы, двери. Но ведь никто не подумает сказать, что какая-нибудь из этих деталей представляет собой район города.

Подобно тому как дом состоит из отдельных деталей, молекула любого вещества образуется из еще более мелких частиц — атомов. В настоящее время известно около ста основных типов атомов, различные сочетания которых дают все многообразие окружающих нас веществ: воду и воздух, бумагу и нефть, зеленый лист дерева и кипящую сталь. Точно так же из нескольких основных строительных материалов создаются самые различные здания: заводы, гаражи, школы, больницы, небоскребы и одноэтажные коттеджи.

Только не подумайте, что можно руками или каким-нибудь инструментом разделить вещество на отдельные молекулы и тем более на атомы. Частицы эти настолько малы, что их не только нельзя взять в руки, но даже нельзя рассмотреть с помощью самых совершенных оптических приборов. О размерах молекулы дают представление такие цифры: в одной капле воды содержится около 1 500 000 000 000 000 000 молекул, каждая из которых во столько же раз меньше самой капли, во сколько раз эта капля меньше Черного моря. Что же касается атомов, то они во много раз меньше молекул.

Рис. 3. Каждый, кто стремится проникнуть в тайны природы, кто хочет освоить замечательные достижения современной физики...

Рис. 4. ... должен прежде всего приучить себя к мысли о том, что мир намного сложнее, чем это кажется с первого взгляда.

Слово «атом» означает «неделимый». Это название утвердилось тогда, когда считали, что

атом уже невозможно разделить на составные части. Но жизнь, как всегда, внесла свои поправки.

В начале этого столетия было установлено, что сам «неделимый» атом также является сложной системой: в центре его находится так называемое ядро, которое, в свою очередь, состоит из множества различных частиц. Вокруг атомного ядра с огромными скоростями вращаются мельчайшие частицы — электроны.

Количество электронов в атоме может быть различным: в самом простом атоме — атоме водорода — вокруг ядра вращается один электрон, в атоме алюминия их уже 13, а в атоме элемента менделеевий, в одном из самых сложных атомов — 101 электрон (лист 3).

Можно самому построить очень упрощенную «действующую» модель атома водорода. Для этого достаточно взять какой-либо легкий предмет, например пустую коробку из-под спичек, и, привязав ее на короткую бечевку, раскрутить вокруг руки. Рука будет играть роль атомного ядра, а роль вращающегося вокруг ядра электрона будет играть спичечная коробка (рис. 5).

Рис. 5. Можно построить весьма упрощенную модель атома, где в центре находится ядро, обладающее положительным электрическим зарядом, а вокруг ядра вращаются отрицательно заряженные электроны.

И вот здесь-то и возникает вопрос: а что же в настоящем атоме выполняет роль бечевки? Ведь если в нашем опыте бечевка оборвется, то «электрон» — спичечная коробка — под действием центробежной силы улетит в сторону! Почему же вращающийся с огромной скоростью электрон не отходит от ядра?

Роль бечевки в настоящем атоме выполняют электрические силы, силы взаимодействия электрических зарядов. Но, прежде чем говорить об этом, следует отметить, что в природе существует два вида электрических зарядов: один из них назван положительным и отмечается на рисунках знаком «плюс»; другой вид зарядов называют отрицательным и обозначают знаком «минус». Применение этих слов и знаков в данном случае совершенно условно: с таким же успехом можно было бы называть заряды красными и синими или зарядами группы а и группы б, а на рисунках обозначать их любыми условными знаками. Положительный заряд появляется на стеклянной палочке, натертой кожей, отрицательный — на каучуковой или пластмассовой палочке, натертой шерстью (лист 1).

Электрические заряды взаимодействуют между собой — одноименные заряды, то есть заряды одного и того же знака, взаимно отталкиваются, разноименные электрические заряды взаимно притягиваются (лист 2). За счет электрических сил взаимного притяжения атомное ядро, обладающее положительным зарядом, как бы на бечевке удерживает вращающийся электрон, обладающий отрицательным зарядом.

В своем нормальном состоянии ядро обладает таким же (по силе) зарядом, как и общий заряд всех электронов. Поэтому положительный заряд ядра и отрицательный заряд электронов как бы компенсируют друг друга, и атом в целом, а значит, и вещество, состоящее из таких атомов, не обнаруживает своих электрических свойств. Но стоит только каким-нибудь способом убрать из атома один, а тем более несколько электронов, как начнут проявляться электрические свойства ядра, и атом будет вести себя как частица с положительным зарядом. Такой, атом получил название «положительный ион». Если же, наоборот, добавить в атом «лишние» электроны, то он будет обладать избыточным отрицательным зарядом, будет представлять собой «отрицательный ион» (лист 4).

Натирая шерстью стеклянную палочку, мы как бы вырвали из ее атомов электроны. В результате этого сама палочка приобрела положительный заряд, а кусок шерсти, куда перешли электроны со стекла, оказался заряженным отрицательным электричеством. В опыте с пластмассовой палочкой наоборот: на шерсти появляются положительные ионы, а на

самой палочке — отрицательные (лист 5).

Давайте сделаем такой опыт: соединим наэлектризованные предметы — пластмассовую (—) и стеклянную (4) палочки каким-нибудь проводом или металлическим предметом. При этом электрические заряды сразу же исчезнут с наэлектризованных предметов и они уже не будут притягивать легкие кусочки шелка или бумаги. Произойдет это из-за того, что лишние электроны по проволоке перейдут с пластмассовой палочки на стеклянную и займут там свободные места в атомах, у которых не хватает электронов (лист 6).

Но почему же такой переход зарядов не мог произойти без соединительного провода непосредственно по воздуху? Благодаря каким свойствам металлических предметов по ним свободно двигаются заряды?

По своей способности проводить электрические заряды все вещества делятся на две основные группы — изоляторы и проводники. Проводники — это прежде всего все металлы[2]. Некоторые электроны в проводниках, покинув свои атомы, беспорядочно движутся в пространстве между неподвижными атомами, многие из которых уже стали положительными ионами. В нашем опыте эти свободные электроны с одного конца проводника будут сразу же «перетянуты» в положительные атомы стеклянной палочки. На место ушедших придут свободные электроны из соседних участков проводника, и этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока на стеклянную палочку проводника не перейдут все лишние электроны с пластмассовой палочки.

Свободные электроны начинают двигаться практически одновременно во всех участках проводника, подобно тому как вода начинает одновременно двигаться во всех участках водопроводной трубы, когда мы открываем кран. Такое упорядоченное, дружное движение свободных зарядов (в частности, электронов) в проводнике под действием электрических сил называется электрическим током (лист 7).

В жидких и газообразных проводниках, в отличие от металлов, положительные ионы очень слабо связаны между собой и могут свободно перемещаться. Поэтому в таких проводниках электрический ток — это не только движение свободных электронов, но и движение свободных положительных зарядов (лист 8). Попутно заметим, что в этом случае положительные заряды и электроны движутся в разные стороны. Так, например, электроны всегда движутся к «плюсу», то есть по направлению к телу с положительным зарядом, а положительные ионы движутся к «минусу».

В изоляторах, их часто называют диэлектриками, свободных электрических зарядов почти нет, поэтому электрического тока в них практически быть не может (лист 9).

Электрический ток, то есть упорядоченно движущиеся заряды, могут выполнять полезную работу, подобно тому как движущийся автомобиль может перевозить грузы, движущийся топор — колоть дрова, движущийся камень — высекать искру. О том, как микроскопические электроны выполняют самую тяжелую работу, заменяя труд миллионов людей, вы узнаете на следующей странице. А до этого нам предстоит решить еще один чрезвычайно важный вопрос: каким образом можно получить ток, который сохранялся бы в проводнике длительное время? Ведь в нашем опыте с наэлектризованными предметами ток существует в проводниках какие-то ничтожные доли секунды — как только заполнятся свободные места в атомах стеклянной палочки, ток прекратится. А такой кратковременный ток — плохой работник: ничего полезного он сделать не успеет.

Для того чтобы ток существовал долго, нужно, чтобы все время сохранялся недостаток электронов на одном из наэлектризованных предметов и избыток — на другом.

Подобная задача сравнительно просто решается в химических источниках тока — аккумуляторах и гальванических элементах. Примером химического источника тока может

служить сосуд, наполненный раствором серной кислоты, в который вставлены два электрода — пластинки из цинка и меди. В результате химических реакций с серной кислотой в медном электроде образуется недостаток электронов, а в цинковом — избыток. Поэтому если соединить электроды проводником, то в нем появится электрический ток — свободные электроны будут переходить по проводнику с цинковой пластинки на медную, подобно тому как они переходили с пластмассовой палочки на стеклянную. Разница здесь состоит в том, что ток не прекратится сразу же, как это было в предыдущем опыте.

В результате химических процессов в кислоте электроны будут непрерывно отбираться из медной пластинки и добавляться в цинковую то есть, пока кислота не потеряет своих свойств, медь будет сохранять положительный заряд, а цинк отрицательный, и все это время в проводнике будет электрический ток.

Этот процесс несколько напоминает круговорот воды в природе, когда влага падает на землю в виде дождя и снега и под действием солнечных лучей вновь поднимается в виде испарений. Химические источники тока находят довольно широкое применение на практике. В качестве примера можно привести автомобильный аккумулятор или батарейку карманного фонаря, состоящую из гальванических элементов (листы 10 и 11). Еще более широко распространены такие источники тока, как электрические генераторы. Необходимое накопление электрических зарядов происходит в них за счет использования механических сил, источником которых служат двигатели внутреннего сгорания и паровые или водяные турбины (лист 12).

Существуют устройства, в которых накопление зарядов осуществляется за счет световой, тепловой и атомной энергии. Мы не будем подробно разбирать работу различных электрических генераторов, а лучше вернемся к вопросу о том, как выполняют полезную работу электроны, движущиеся по проводнику. Для примера рассмотрим обычный карманный фонарик. В нем имеется электрическая цепь, состоящая из источника тока — батарейки, коротких соединительных проводов (их роль может выполнять металлический корпус фонаря или полоски белой жести), лампочки и простейшего выключателя.

Для всех элементов электротехнических и радиотехнических устройств: аккумуляторов, электродвигателей, переключателей, лампочек, радиоламп, громкоговорителей, соединительных проводов и т. п. (листы 10, 12, 13, 18, 21, 24, 37, 44, 45, 58, 60, 67, 68, 84, 92, 93, 94, 95, 103, 104, 116, 184–219), имеются условные обозначения, с помощью которых можно выполнить сравнительно простой рисунок — так называемую принципиальную схему. Схема даст полное представление об электрических цепях рассматриваемого устройства. На схеме часто делают сокращенные обозначения, которые указывают порядковый номер того или иного элемента цепи. Например, если в цепи имеются две лампочки, то на схеме они обозначаются Л1 и Л2.

Примером простейшей схемы может служить изображенная на рисунке 6 схема карманного фонаря. Если замкнуть выключатель Вк1, то в цепи карманного фонаря появится ток и лампочка Л1 засветится. Свечение лампочки объясняется тем, что ее нить оказывает большое сопротивление движущимся зарядам. Дело в том, что заряды не двигаются по проводнику беспрепятственно: то и дело они ударяются о встречные атомы или сталкиваются между собой. Из-за всех этих ударов и столкновений часть энергии движущихся зарядов превращается в тепло, подобно тому как превращается в тепло часть энергии молота, ударившего по наковальне (рис. 6).

Рис. 6. Движущиеся в электрической цепи заряды ударяются о неподвижные атомы проводника, благодаря чему проводник, по которому течет ток, например нить лампочки, нагревается.

Способность какого-либо участка электрической цепи препятствовать движению зарядов



называется электрическим сопротивлением. Сопротивление нити лампочки довольно велико, а диаметр этой нити очень мал. Поэтому нить отбирает у тока много энергии и в то же время плохо излучает тепло. Нагревшись до высокой температуры, нить лампочки начинает светиться. Таким образом и преобразуется энергия движущихся зарядов, то есть энергия электрического тока, в свет и тепло. Само собой разумеется, что сопротивление соединительных проводов должно быть как можно меньше, чтобы они не отбирали энергию у движущихся зарядов.

На первый взгляд может показаться странным, как это движущийся электрон, обладающий ничтожной массой, нагревает до высокой температуры нить лампочки или спираль электроплитки. Конечно, если бы речь шла об одном электроны, то эти сомнения были бы оправданы. Действительно, энергия одного электрона настолько мала, что ее не стоит и учитывать. Но ведь по нити лампочки или по спирали плитки одновременно движется очень много электронов. Насколько много, что их количество может выражаться числом, у которого после единицы стоят десятки нулей! И хоть мал работник — электрон, а с такой огромной армией уже не считается нельзя — она может проделать весьма значительную работу.

Другой путь использования энергии движущихся зарядов — это превращение ее в механическую работу. Для этой цели служат электрические двигатели, которые с помощью тока вращают колеса электровоза, поднимают ковши гигантских экскаваторов или приводят в движение винты атомохода «Ленин».

При упорядоченном движении электрических зарядов по проводнику он не только нагревается, но и приобретает магнитные свойства — становится своего рода магнитом (рис. 7).

Рис. 7. Вокруг движущихся зарядов возникает магнитное поле. Как и обычный магнит, проводник, по которому течет ток, обладает магнитными свойствами: он может поворачивать стрелку компаса, притягивать железные предметы или другие проводники, по которым течет ток.

Если взглянуть на постоянный магнит, например на стрелку компаса, то может показаться, что магнетизм не имеет ничего общего с электричеством. В действительности же магнитные свойства любого постоянного магнита связаны с движением зарядов и, в частности, с движением электронов вокруг атомного ядра. Магнитные свойства Земли, благодаря которым стрелка компаса всегда поворачивается на север, также обусловлены мощными токами, которые существуют как внутри земного шара, так и в атмосфере.

Если взять два проводника, по которым течет электрический ток, то они будут взаимодействовать между собой как два магнита, то есть будут взаимно притягиваться или отталкиваться (в зависимости от направления тока). Это явление и используется в электрических двигателях, где силы взаимного притяжения или отталкивания постоянного магнита и проводника с током или еще чаще одних только проводников с током выполняют нам механическую работу (лист 13).

Самое сложное электротехническое устройство с множеством генераторов, двигателей, переключателей, нагревательных и осветительных приборов различных типов всегда можно рассматривать как комбинацию сравнительно простых цепей. Сложные и простые электрические цепи в свое время были тщательно изучены. Результатами такого изучения явились несколько основных законов, основных правил, которым подчиняются электрические процессы. С некоторыми из этих правил мы сейчас познакомимся. АНКЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

В качестве примера простой цепи возьмем уже известный нам карманный фонарик, в котором имеется и источник тока — батарейка — и так называемая нагрузка — лампочка,

потребляющая электрическую энергию батареи, и соединительная линия — два провода, по которым электроны идут «на работу» и «с работы», то есть по одному проводу двигаются от батареи к нагрузке, а по другому — от нагрузки к батарее.

Прежде чем рассматривать законы электрической цепи, нам необходимо научиться количественно оценивать происходящие в ней процессы. Пока мы лишь общими фразами описывали характеристики электрических цепей и то, что в них происходит.

Мы говорили, например, что на стеклянной палочке сосредоточен сильный заряд или, наоборот, слабый заряд, что проводник хорошо проводит ток или, наоборот, плохо проводит ток, что ток в цепи велик или мал. Таких общих слов, как «большой», «малый», «сильный», «слабый», «много», «мало» и др., очень часто оказывается недостаточно ни в технике, ни в повседневной жизни. Ведь вы же не можете прийти в магазин и потребовать: «Отпустите мне мало хлеба» или «Продайте мне много манной крупы». Вы должны назвать точную цифру и указать единицу измерения — килограмм, грамм, литр, метр и т. д. Точно так же, описывая какую-нибудь электрическую цепь, мы должны точно оценивать протекающий в ней ток, сопротивление всей цепи и отдельных ее участков, мощность, потребляемую нагрузкой и теряемую в соединительных проводах, и ряд других величин.

Единицей измерения электрического сопротивления служит ом (листы 14, 15). Вместо слова «ом» иногда ставят греческую букву «омега» —  $\omega$ . Более крупными единицами являются килоом (ком) и мегом (Мом). Для характеристики этих величин укажем, что сопротивление накаливаемой нити лампочки карманного фонаря примерно равно 20 ом, а кусок медной проволоки диаметром 1 мм и длиной 1 м обладает сопротивлением около 0,02 ом (лист 17). Если же такой провод протянуть от Москвы до Владивостока (расстояние около 10 000 км), то его сопротивление уже составит 200 ком (или 0,2 Мом). Сопротивление провода растет не только при увеличении длины, но и при уменьшении его диаметра (лист 16) — чем тоньше проводник, тем труднее электронам двигаться в нем. Кроме того, сопротивление зависит еще и от материала, из которого сделан проводник (сопротивление медного провода меньше, чем железного, но больше, чем серебряного), и от его температуры (при нагревании большинство материалов увеличивает свое сопротивление). В формулах и на схемах, а иногда и в тексте сопротивление сокращенно обозначается буквой R, первой буквой латинского глагола *resistere* — сопротивляться.

В ряде случаев для отдельных элементов электрической цепи достаточно знать только их сопротивление — сопротивление нити лампочки, обмотки электродвигателя, соединительных проводов и т. п. В подобных случаях все эти элементы на схемах изображают в виде небольших прямоугольников, которые являются условными обозначениями любых сопротивлений (лист 18).

В качестве единицы электрического заряда (заряд обозначается буквой q) можно было бы взять электрон, заряд которого при любых условиях остается неизменным. Однако заряд электрона очень мал, и на практике пользуются более крупной единицей — кулоном (к), который равен более чем шести квинтиллионам (квинтиллион — это миллиард миллиардов, единица с восемнадцатью нулями!) зарядов электрона (лист 19).

Электрический ток — это упорядоченное движение свободных зарядов по проводнику, и, чем более массовый характер носит это движение, тем сильнее ток. Величина тока (обозначается буквой I) или, как иногда говорят, сила[3] тока, измеряется в амперах (а) и более мелких единицах — миллиамперах (ма) и микроамперах (мка). Ток в проводнике равен 1 а в том случае, если через поперечное сечение этого проводника каждую секунду проходят частицы с общим зарядом 1 к, (например, 6 280 000 000 000 000 электронов (рис. 8, лист 20). Если же за одну секунду пройдет заряд, больший чем 1 к, или, наоборот, если 1 к пройдет за время, меньшее чем 1 сек, то значит, ток в цепи больше одного ампера. Для иллюстрации единиц измерения тока приведем следующие цифры: ток, который проходит по нити

лампочки карманного фонаря, примерно равен 100–200 ма (0,1–0,2 а); ток в проводах, идущих от мощной электростанции, может достигать нескольких сотен и даже тысяч ампер; ток, который под действием радиоволн появляется в антенне приемника, обычно не превышает тысячных долей микроампера.

Для измерения величины тока существует специальный прибор — амперметр (миллиамперметр, микроамперметр). Прибор этот включают в электрическую цепь так, чтобы через него проходил весь ток, который нужно измерить. Амперметр как бы подсчитывает число проходящих через него зарядов, и стрелка прибора показывает величину тока в цепи. Чем сильнее ток, тем больше зарядов проходит через амперметр, тем дальше отклоняется его стрелка (лист 21).

Рис. 8. Величина (сила) тока говорит о скорости и «массовости» движения электрических зарядов в цепи. Величина тока в проводнике равна 1 а, если за одну секунду через условное поперечное сечение этого проводника проходит заряд 1 кулон.

Заряд, ток, сопротивление — это пока все, чем мы можем характеризовать электрическую цепь. Большинство других характеристик связано с той работой, которую выполняют заряды, движущиеся по цепи.

Всякую работу можно приравнять к поднятию определенного груза на определенную высоту. Так, например, велосипедист, ехавший по шоссе в течение часа, выполнил работу, равносильную поднятию груза в 500 кг на высоту 5 м, а трактор за один час вспашки целины выполняет такую же работу, какую нужно было бы затратить на поднятие груза в 50 т на высоту 50 м.

Примерно такую же работу выполнит источник тепла, который доводит до кипения бочку воды. Единицей измерения работы является джоуль (дж), соответствующий поднятию груза около 100 г на высоту 1 м (лист 22). Поэтому, когда вы поднимаете со стола стакан молока и подносите его ко рту, то совершаете работу, примерно равную 1 дж. Работа в 1 дж сравнительно невелика. Так, например, для того чтобы в электрическом чайнике вскипятить 5–6 л воды, проходящий по нагревателю этого чайника ток выполняет работу около миллиона джоулей!

О возможностях того или иного человека выполнять физическую работу можно судить по его мускульной силе. Работоспособность двигателя внутреннего сгорания в основном зависит от числа цилиндров, их диаметра и степени сжатия горючей смеси в цилиндрах. Работу, которую может выполнить гидравлическая (водяная) турбина, определяется площадью ее лопаток и давлением воды на эти лопатки.

От чего же зависит та полезная работа, которая может выполняться в электрической цепи? Прежде всего она зависит от способности источника тока двигать заряды. Так, например, чем сильнее отрицательный электрод гальванического элемента «выталкивает» электроны и чем сильнее они «притягиваются» положительным электродом, тем большую работу смогут выполнить эти электроны, двигаясь по электрической цепи. Эта способность источника «выталкивать» и «притягивать» заряды, то есть его способность выполнять работу, перемещая по цепи определенный электрический заряд, характеризуется величиной электродвижущей силы (часто пишется сокращенно — э. д. с., или обозначается буквой  $E$ ), единицей измерения которой (лист 23) является вольт (в). Более мелкими единицами являются милливольт (мв) и микровольт (мкв), а более крупной единицей — киловольт (кв).

Если при перемещении заряда в один кулон (например, 6 280 000 000 000 000 электронов) источник тока выполнит работу в 1 дж (подъем груза в 100 г на высоту 1 м), то такой источник обладает работоспособностью, а говоря официально, — электродвижущей силой, в 1 в (рис. 9).

Рис. 9. Величина электродвижущей силы (э.д.с.) характеризует способность источника электрической энергии совершать работу при перемещении зарядов.

Величину э.д.с. можно измерить специальным прибором — вольтметром, который подключается к выходу источника тока, то есть между его зажимами[4]. При этом по электрической цепи вольтметра течет ток. В зависимости от работы, выполняемой зарядами, отклоняется стрелка вольтметра. По шкале прибора, размеченной в вольтах, стрелка показывает э. д. с. источника (лист 24). Вольтметр обычно конструируют так, чтобы при измерениях он потреблял от источника тока как можно меньше энергии. **ЗАКОН ЕСТЬ ЗАКОН!**

Теперь, когда мы уже знаем, что такое заряд, сопротивление, ток и электродвижущая сила и какими единицами они измеряются, можно познакомиться с основными соотношениями в электрических цепях, с основными законами электротехники.

Первый и, пожалуй, самый важный из них — это закон Ома. Им приходится руководствоваться при рассмотрении всех без исключения цепей электро- и радиоаппаратуры. Недаром у радиолюбителей в отношении закона Ома существует такая суровая поговорка: «Не знаешь закон Ома — сиди дома!»

Давайте вернемся к нашему «подопытному» карманному фонарику (рис. 6). От чего зависят основные характеристики этой электрической цепи: э. д. с., сопротивление и ток? Очевидно, э. д. с. зависит от активности химических реакций в батарее, а сопротивление нити лампочки — от ее материала, длины, диаметра и температуры. А от чего же зависит ток в цепи? Попробуем разобраться.

Источником тока является батарея — именно она заставляет электроны двигаться по цепи. Сама же электрическая цепь, и особенно лампочка, обладая определенным сопротивлением, в какой-то степени препятствует движению электронов. Чем больше э. д. с. (E) батареи, тем большей работоспособностью будет обладать каждый движущийся заряд, тем легче он преодолеет все препятствия и быстрее пройдет по цепи. А чем быстрее движутся заряды, тем большее их количество проходит через любую точку цепи, тем, следовательно, больше ток (I).

Совершенно иначе влияет на ток сопротивление цепи. Чем больше сопротивление лампочки (R), тем труднее двигаться зарядам, тем меньше их скорость, а следовательно, тем меньше и ток.

Таким образом, величина тока в цепи зависит от электродвижущей силы E и сопротивления R. С увеличением э.д.с. ток растет, а с увеличением сопротивления уменьшается. Эта зависимость, называемая законом Ома для всей цепи (лист 25), может быть выражена очень простой формулой:

Возле условных обозначений тока, э. д. с. и сопротивления в скобках указаны те единицы измерения, при которых расчеты по приведенной формуле дадут верный результат. Если же хоть одна из величин дана в других единицах, то необходимо пересчитать значения остальных величин. При этом удобно пользоваться таблицей, приведенной на листке 27.

Теперь давайте на несколько минут отвлечемся от нашего основного разговора и уделим внимание тем немногим читателям, которые испытывают страх перед формулами. Если такой читатель увидит в книге формулу, он обязательно поморщится и побыстрее перевернет страницу. Вот и сейчас, наверное, кое-кто выражает недовольство: «Ну зачем нужно было записывать закон Ома в виде формулы? Ведь все и так понятно! Нельзя ли вообще обойтись без формул?»

Можно, конечно, обойтись и без формул и вместо них пользоваться словами или картинками.

Точно так же можно обойтись и без автобусов, поездов и самолетов и всегда ходить пешком. Только кому это нужно — из двух решений выбирать самое сложное, самое неудобное?

Формулы — очень удобный, а иногда даже незаменимый способ записи самых различных законов и зависимостей (рис. 10).

Рис. 10. Формулы — это очень простой и удобный способ записи самых различных законов и зависимостей.

Нужно только научиться понимать формулы, знать их язык. Вот, например, приведенная выше формула закона Ома. Она ясно говорит о том, что ток  $I$  равен частному от деления  $E$  на  $R$ , то есть ток зависит от обеих этих величин. Величина  $E$  стоит в числителе дроби, и, значит, с ее увеличением ток растет. Сопротивление  $R$  стоит в знаменателе, и поэтому сразу ясно, что с увеличением  $R$  ток уменьшается (чем больше знаменатель, тем меньше значение дроби, например  $1/4$  меньше чем  $1/2$ ).

Подставив в формулу закона Ома известные нам значения  $E$  и  $R$ , можно сразу вычислить ток в цепи. Так, например, если  $E = 4,5$  в, а  $R = 75$  ом, то  $I = 0,06$  а = 60 ма.

Кроме лаконичности, наглядности и удобства для вычислений, формулы имеют еще одно достоинство — их легко преобразовать и привести к удобному для вычислений виду. При этом приходится пользоваться лишь одним правилом: если мы одновременно умножим или разделим правую и левую часть равенства на одну и ту же величину или же проделаем с обеими частями какую-либо другую алгебраическую операцию (сложение, вычитание, деление и т. д.), то равенство не нарушится. Пользуясь этим правилом, можно получить еще две удобные для расчетов формулы (лист 25):

Первая из них, позволяющая подсчитать  $E$ , если известно  $I$  и  $R$ , получена нами из формулы закона Ома путем умножения обеих ее частей на  $R$ . Вторую формулу, предназначенную для расчета сопротивления цепи  $R$  по известным  $E$  и  $I$  (ток и э.д.с. легко измерить приборами), также можно получить из формулы закона Ома, если обе ее части умножить на  $R$  и разделить на  $I$ .

На этом простом примере видно, что формулы могут оказаться очень полезными при расчетах и решении практических задач. При одном взгляде на формулу можно установить основные соотношения того закона, к которому она относится. Правда, в последнем случае нужно знать физический смысл самого закона. Действительно, если не знать этого, то, анализируя две последние формулы, можно прийти к таким нелепым выводам: э. д. с. батареи зависит от... сопротивления цепи (вторая формула), или: сопротивление цепи зависит от... э.д.с. батареи (третья формула).

Подведем итог: всякий, кто хочет всерьез заниматься наукой и техникой и, в частности, радиоэлектроникой, должен буквально со школьной скамьи приучить себя к мысли о том, что формулы — вещь удобная, а порой даже необходимая. А для того чтобы не испытывать страха перед формулами, нужно научиться читать и понимать их так же свободно, как вы читаете и понимаете обычные слова. Теперь продолжим наш разговор.

Чтобы убедиться в том, что с увеличением  $R$  ток в цепи уменьшается, можно проделать простой опыт: в карманном фонаре включить вместо одной лампочки  $L1$  две —  $L1$  и  $L2$ , соединенные последовательно, то есть соединенные так, что электроны, двигаясь по цепи, проходят последовательно сначала одну, а затем и вторую лампочку (рис. 11).

Рис. 11. Один из основных законов электротехники — закон Ома — показывает, как зависит ток в цепи от электродвижущей силы, источника и сопротивления этой цепи.

Общее сопротивление при последовательном соединении равно сумме отдельных

сопротивлений (листы 28, 30)

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$$

где  $R_1$  — сопротивление первой лампочки,  $R_2$  — второй, а  $R_{\text{общ}}$  — их общее сопротивление. Формула эта не требует особых пояснений: включить две лампочки последовательно равносильно тому, что включить одну, у которой нить вдвое длиннее. Если каждая из двух лампочек имеет нить с сопротивлением 75 ом, то их общее сопротивление равно 150 ом.

Подключив обе лампочки к батарее, вы убедитесь, что ни одна из них не светится полным светом. Объясняется это тем, что с увеличением сопротивления цепи ток в ней уменьшился и энергии электронов уже не хватает, чтобы полностью накаливать нить. Однако мы соединяли две лампочки не для того, чтобы доказывать эту и без того очевидную истину. Собранная цепь должна помочь нам познакомиться с таким важным понятием, как напряжение. Прежде чем начинать это знакомство, нам нужно рассмотреть еще один вопрос — о направлении тока в цепи.

Разбирая процессы в сложных электротехнических и радиоаппаратах, очень удобно следить за прохождением тока, пользуясь принципиальной схемой. При этом часто бывает необходимо знать, какой конец того или иного элемента (например, лампочки или мотора) соединен с «плюсом» источника тока, а какой — с «минусом». В случае простых цепей для решения этого вопроса достаточно взглянуть на схему — и сразу видно, где «плюс», где «минус». В сложных цепях очень часто подобный вопрос приходится решать косвенным путем, исходя из того, в какую сторону двигаются заряды.

Так, например, если известно, что через лампочку электроны двигаются сверху вниз (по схеме), то можно сразу же сделать вывод, что нижний (по схеме) провод, идущий от лампочки, подключен к «плюсу», а верхний — к «минусу». Вывод этот основан на том, что электроны всегда двигаются от «минуса» к «плюсу». К такому же выводу мы пришли бы, если было бы известно, что по лампочке снизу вверх двигаются положительные заряды, так как направление их движения — от «плюса» к «минусу».

Для того чтобы не создавать лишнюю путаницу, особенно при рассмотрении больших схем, оказывается удобным ввести понятие об условном направлении тока и учитывать при этом движение одних каких-нибудь зарядов. Исторически получилось так, что за основное направление принято направление движения положительных зарядов. Потому при рассмотрении схем мы условно считаем, что ток во всех цепях представляет собой упорядоченное движение только положительных зарядов, направляющихся от «плюса» к «минусу», то есть от места, где их слишком много, к месту, где положительных зарядов не хватает (рис. 12, 13).

Рис. 12. Ток могут создавать как отрицательные заряды (например, свободные электроны), так и положительные заряды (например, свободные положительные ионы).

Рис. 13. Рассматривая электрические цепи и их схемы, для упрощения считают, что ток создают только положительные заряды, и принимают условное направление тока от «плюса» к «минусу».

Такая условность немного несправедлива, так как в большинстве случаев ток образуется электронами. Но от этой несправедливости никто не пострадает. Электроны будут по-прежнему двигаться своим путем, а все вопросы будут решаться с помощью условного тока, точно так же как они решались бы с учетом истинного направления движения электронов. Не все ли равно, как считать: что электроны в какой-нибудь цепи двигаются справа налево или что условный ток (то есть положительные заряды) двигается в этой цепи слева направо? Ведь и в том и в другом случае справа будет «минус», а слева «плюс»!

А если при разборе какой-нибудь схемы в соответствии с правилом: ток течет от «плюса» к «минусу», вас начнут смущать двигающиеся в обратном направлении электроны, то условно замените их положительными зарядами — и все ваши сомнения моментально рассеются.

## ДЕЛИТЕЛЬ И ШУНТ

А теперь вернемся к рассматриваемой нами цепи, в которую входят две соединенные последовательно лампочки Л1 и Л2 (рис. 11). Мы знаем, что величина э.д.с., выраженная в вольтах, показывает, какую работу источник тока может совершить (и совершит при подключенной цепи!), перемещая заряд, равный 1 к от одного своего электрода к другому. Электродвижущая сила нашей батарейки — 4,5 в, и это значит, что, перемещая по цепи каждый кулон зарядов, она выполняет работу 4,5 дж.

Раньше, когда у нас была одна лампочка, то было ясно, что вся эта работа будет затрачена на то, чтобы преодолеть сопротивление ее нити, с выделением определенного количества тепла. Теперь же, когда у нас две лампочки, источнику тока придется преодолеть сопротивление каждой из них, причем общая работа по перемещению одного кулона по всей цепи все равно будет равна величине э.д.с. Если лампочки Л1 и Л2 одинаковые, то, очевидно, на каждую из них будет затрачена половина э.д.с. батареи, то есть заряд в 1 к, проходя по нити одной из этих лампочек, выполнит работу 2,25 дж (рис. 15, левая схема). Та часть общей работы, которая затрачивается на преодоление какого-либо участка цепи, называется падением напряжения или просто напряжением на этом участке и обозначается буквой  $U$ .

Поскольку напряжение  $U$  говорит о работе, которая приходится на один кулон движущихся зарядов, то оно так же, как и э.д.с., измеряется в вольтах: если на перемещение заряда в 1 к по какому-либо участку цепи затрачивается работа в 1 дж, то напряжение на этом участке равно 1 в. Если э.д.с. батареи равна 4,5 в, то при одинаковых лампочках Л1 и Л2 падение напряжения на каждой из них составит 2,25 в (рис. 15, левая схема).

Напряжение на участке цепи тем больше, чем больше сопротивление этого участка  $R$  и чем больше проходящий по нему ток  $I$ . Эта зависимость называется законом Ома для участка цепи и выражается простой формулой:

Из этой формулы легко получить две другие, позволяющие вычислить  $I$  и  $R$  (листы 26, 27).

То, что напряжение на участке цепи зависит от сопротивления, вполне понятно: чем больше сопротивление участка, тем большая часть общей работы будет затрачена на то, чтобы преодолеть именно это сопротивление. Но почему напряжение зависит от тока?

Дело в том, что величина тока  $I$  также характеризует ту работу, которую выполняют движущиеся заряды. Если ток большой, то заряды двигаются быстро и каждый из них выполнит сравнительно большую работу. Слабый ток свидетельствует о том, что энергия движущихся зарядов невелика и, проходя по какому-нибудь участку цепи, большой работы они выполнить не смогут.

Несколько раньше, говоря о работе, затрачиваемой на преодоление сопротивления, вместо слов «падение напряжения» мы начали применять слово «напряжение». Внимательный читатель мог сразу же усмотреть в этом большую неточность, так как подобная замена равносильна, например, тому, что вместо слов «потеря энергии» употребить слово «энергия». Однако, применяя термин «напряжение» вместо «падение напряжения», мы не допустили никакой неточности. Дело в том, что участок цепи, на котором падает (теряется) определенное напряжение, можно рассматривать как своеобразный источник тока с вполне определенной величиной э.д.с.

Для того чтобы понять это, нужно прежде всего выяснить, как распределяется в электрической цепи тот избыток положительных и отрицательных зарядов, который появляется в батарее в результате химических реакций. Если вы думаете, что избыточные

заряды собраны только на электродах гальванического элемента, то вы глубоко ошибаетесь.

Представьте себе, что вы должны на санях спуститься со снежной горы по «дороге», имеющей такой профиль: сначала высокий и отвесный спуск, попросту говоря, высокий обрыв, потом абсолютно ровный участок и, наконец, опять обрыв.

Совершенно ясно, что если вы каким-то чудом уцелеете после первого обрыва, то по ровному участку ваши сани сами не пойдут — сани двигаются только тогда, когда есть какой-нибудь уклон.

То же самое произошло бы с электронами, образующими ток, если бы все избыточные заряды накапливались на электродах батарейки: переход электронов с «минуса» батареи, где их много, в провод цепи равносильно падению саней с обрыва, а дальше по проводам и особенно через лампочку ничем не подталкиваемые электроны двигаться не смогут, так же как сани сами по себе не могут двигаться по ровной местности.

Для того чтобы сани двигались все время, нужно, чтобы все участки дороги имели уклон.

Точно так же электроны двигаются по всей цепи лишь в том случае, если на концах любого ее участка имеется избыток или недостаток зарядов, то есть если на этом участке действует какая-то электродвижущая сила и выполняется работа для преодоления встречающегося сопротивления (рис. 14).

Рис. 14. Избыточные заряды — электроны и положительные ионы — не концентрируются на электродах батареи, а распределяются вдоль всей цепи так, что свободные электроны, образующие ток, на всем пути «подталкиваются» или «подтягиваются» от отрицательного электрода к положительному.

Вот эту-то электродвижущую силу мы и называем напряжением на участке цепи. Термин «э.д.с.» применяется только по отношению к самому источнику тока, да и то лишь в том случае, когда к нему не подключена электрическая цепь.

Но откуда берутся в электрической цепи избыточные заряды, которые могут создавать напряжение на отдельных участках?

Ну конечно же, это «продукция» нашей батарейки, результат происходящих в ней химических реакций. Лишние электроны, так же, как и атомы с недостающими электронами, не концентрируются только на электродах батарейки — в цепи «обрывов» нет! Сразу же после подключения батарейки с ее отрицательного электрода в один конец цепи моментально «хлынут» электроны, а с другого конца цепи электроны так же стремительно уйдут на положительный электрод, оставив в проводниках лишние положительные ионы. В результате этого избыточные заряды, появляющиеся на электродах батарейки, мгновенно распределяются по всей замкнутой цепи. Где бы ни находился электрон, он всегда «подталкивается» по направлению от отрицательного электрода к положительному, так же как сани по наклонной дороге все время катятся сверху вниз.

Для того чтобы картина спуска саней больше походила на движение электронов в цепи, нужно представить себе, что сани спускаются не по снегу, а по дороге с участками из различных шероховатых материалов, например из асфальта, дерева, листового железа и т. п., аналогично тому, как движущиеся электроны на различных участках цепи преодолевают разное сопротивление проводника.

Для того чтобы сани по всему пути двигались с одинаковой скоростью, нужно, чтобы участки из очень шероховатого материала (например, асфальта) имели сравнительно большой уклон, а участки из более скользкого материала (например, листового железа) — меньший уклон. Точно так же напряжение на том или ином участке электрической цепи должно быть тем



больше, чем больше сопротивление этого участка. Только при этом условии скорость движения электронов, то есть величина тока, во всей цепи будет неизменной. А то, что ток в любой точке цепи должен быть одинаковым, не требует особых пояснений. Ведь если в какой-нибудь точке цепи электроны вдруг начнут двигаться медленней, то электроны будут здесь непрерывно накапливаться, и через некоторое время этот участок станет источником тока. А такого, конечно, не бывает.

В замкнутой электрической цепи избыточные заряды, поступающие от батарейки, сами распределяются так, что во всех точках этой цепи протекает одинаковой силы ток. При этом, естественно, на участках с большим сопротивлением действует и большее напряжение. Это вполне согласуется с приведенной ранее формулой  $U = I \cdot R$ . Напряжение  $U$  на каждом участке цепи так же, как и э.д.с. батареи, может быть измерено вольтметром. Для того чтобы до конца использовать наше сравнение, укажем, что увеличить скорость движения саней можно путем создания более высокого спуска или более скользкой дороги.

Точно так же для увеличения тока можно увеличить э.д.с. источника или уменьшить общее сопротивление цепи. Зависимость напряжения на том или ином участке цепи от сопротивления этого участка широко используется в так называемых делителях напряжения (листы 31, 33).

Примером такого делителя может служить наша цепь, состоящая из двух лампочек, на каждой из которых действует напряжение по 2,25 в (рис. 15, левая схема). Если бы сопротивление лампочки Л1 было в два раза больше, чем сопротивление лампочки Л2, то на первой из них действовало бы напряжение 3 в, а на второй — 1,5 в (рис. 15, правая схема). Подбирая определенным образом сопротивление цепи, с делителя можно получить напряжение, которое будет во сколько угодно раз меньше, чем э.д.с. батареи.

Рис. 15. Чем больше сопротивление участка цепи, тем большая часть э.д.с. затрачивается, чтобы преодолеть это сопротивление, тем, следовательно, больше падение напряжения (напряжение) на данном участке. Подбирая соединенные последовательно сопротивления, можно величину э. д. с. «разделить» в нужной пропорции.

Важно отметить, что относительно средней точки (точка б) напряжение на верхней лампочке будет положительным, а на нижней — отрицательным. Это равносильно тому, что человек, стоящий в середине нашего условного спуска, сможет увидеть и более высокую точку (начало спуска), и более низкую точку (конец спуска).

Если каждый участок электрической цепи, на котором действует какое-либо напряжение, является своего рода источником тока, то нельзя ли подключить к нему нагрузку? Вообще-то говоря, можно, но при этом уменьшится напряжение на участке, к которому эта нагрузка подключается. Для того чтобы понять, почему это происходит, давайте сделаем простейший опыт — параллельно одной из лампочек, например Л2, подключим третью лампочку Л3 (рис. 16).

Рис. 16. При подключении шунта параллельно какому-то элементу цепи уменьшается ток через этот элемент, а также уменьшается общее сопротивление участка.

Мы надеемся, что при этом напряжение, действующее на Л2, вызовет слабое свечение лампочки Л3. Однако этого не произойдет: после подключения Л3, погаснет и лампочка Л2. Вместе с тем лампочка Л1 начнет светиться ярче. Оказывается, после подключения Л3, напряжение на первой лампочке возросло, а на второй уменьшилось. Чем же вызвано такое перераспределение напряжений?

Мы знаем, что напряжение на участках цепи зависит от их сопротивления. С лампочкой Л1 мы ничего не делали, и сопротивление ее возрасти не могло, а поэтому остается сделать лишь один вывод: при подключении Л3 сопротивление правого участка цепи (участок бв)

уменьшилось, что и привело к перераспределению напряжений, так же как это было бы в любом другом делителе.

Уменьшение сопротивления правого участка вполне объяснимо: включить две лампочки параллельно равносильно тому, что взять одну лампочку с более толстой нитью. Для расчета общего сопротивления двух параллельно включенных лампочек (или других элементов цепи) существует простая формула (листы 29, 30)

Ток на правом участке цепи разветвится — часть его пойдет через Л2, а часть через Л3. Если лампочки эти разные, ток большей силы пойдет через ту, которая имеет меньшее сопротивление. Если же сопротивления равны, то через лампочки Л2 и Л3 пойдет одинаковый ток. Однако при любом соотношении сопротивлений (а следовательно, и токов) на параллельно соединенных элементах цепи всегда действует одинаковое напряжение. Да иначе и быть не может! Ведь для общего тока, то есть для тока, который и определяет падение напряжения на том или ином участке цепи, важно общее сопротивление этого участка, независимо от того, какие в него входят потребители энергии и как они между собой соединены.

Сопротивление, подключаемое параллельно какому-нибудь участку цепи, называют шунтом, а сам процесс подключения параллельно сопротивлению — шунтированием (листы 32, 34).

Так, например, можно сказать, что лампочкой Л3 мы зашунтировали лампочку Л2. Слово «шунт» в переводе означает «ответвление», «обходной путь».

Рассмотренные процессы позволят нам объяснить еще одно очень интересное явление. Попробуйте подключить к батарейке две, затем три и, наконец, четыре лампочки, соединенные параллельно. Вы сразу же заметите, что чем больше лампочек, тем слабее светится каждая из них. Все это может показаться совершенно необъяснимым. Ведь на всех лампочках действует одинаковое напряжение, равное э.д.с. батарейки, и казалось бы, что ток, проходящий через каждую из них, должен быть одинаковым — величина тока определяется по закону Ома независимо от числа подключенных лампочек. Однако в действительности это не так. Напряжение на лампочках не равно величине э.д.с. Чем больше лампочек мы подключаем к батарейке, то есть чем больше общий ток, потребляемый от нее, тем меньшее напряжение действует между выходными зажимами.

До сих пор мы рассматривали источник тока как некое идеальное устройство, забыв о том, что и в самом источнике теряется некоторая часть вырабатываемой им электрической энергии. В батарейке, например, часть энергии теряется в электролите и при движении зарядов по электродам. В машинном генераторе заметные потери возникают в проводах его обмоток.

Одним словом, для того чтобы реально изобразить источник тока, нужно добавить в его схему сопротивление, которое будет отражать все виды потерь внутри этого источника. Элемент цепи, о котором достаточно знать лишь то, что он обладает сопротивлением, на схеме обозначают в виде прямоугольника, возле которого обычно стоит буква R (лист 18). Такой элемент — внутреннее сопротивление источника  $R_{вн}$  — мы введем и в нашу схему, разместив его, разумеется, в самой батарее, то есть до ее выходных зажимов (лист 35).

Теперь видно, что вся электродвижущая сила распределяется между внешней цепью и внутренним сопротивлением источника. Увеличивая число лампочек, подключаемых к батарейке, мы тем самым увеличиваем потребляемый от нее ток.

А чем больший ток проходит по  $R_{вн}$ , тем больше напряжение теряемое на нем, и тем, следовательно, меньше напряжение  $U_b$  на зажимах батарейки. К такому же выводу можно прийти, если рассматривать нашу цепь как своеобразный делитель напряжения, в который входит внутреннее сопротивление  $R_{вн}$  и внешняя цепь. Чем больше лампочек мы

подключаем к батарее, тем меньше их общее сопротивление и тем меньшая часть э.д.с. приложена к внешней цепи.

Если говорить строго, то к внутреннему сопротивлению источника нужно было бы отнести и сопротивление соединительных проводов, так как и на них теряется часть напряжения. В нашем примере это не имеет особого значения, но в ряде случаев потери в проводах проявляются очень сильно. Посмотрите, как вечером в так называемые «часы пик» несколько слабеет свет ламп в вашем доме. Происходит это потому, что в такие часы особенно много включается потребителей электроэнергии. Из-за этого сильно возрастает ток, который по проводам идет с электростанции в ваш дом. Это, в свою очередь, приводит к тому, что увеличивается падение напряжения на сопротивлении проводов и уменьшается напряжение, подводимое к лампочке, телевизору или мотору электропроигрывателя. Подобное явление можно заметить даже при включении электроплитки, особенно в первый момент, когда спираль плитки не нагрелась и потребляет большой ток. **ПОЗНАКОМЬТЕСЬ — СОПРОТИВЛЕНИЕ!**

В радиоаппаратуре очень широкое применение находят детали, единственное назначение которых, оказывается, сопротивление электрическому току. Эти детали так и называются — «сопротивления» и на схеме обозначаются прямоугольником, так же как и любое сопротивление, действующее в цепи (рис. 17).

Рис. 17. В радиоаппаратуре широко применяются специальные детали — постоянные сопротивления.

Сопротивления являются одной из самых распространенных радиодеталей. Они могут использоваться и для образования делителей напряжения, и для шунтирования отдельных участков цепи, и для многих других целей. Все сопротивления можно разделить на две основные группы — проволочные и непроволочные. В каждой из этих групп можно встретить сопротивления постоянные (лист 36) и переменные (лист 37).

Проволочные сопротивления, как об этом говорит само название, делают из проволоки, которую обычно наматывают на керамический каркас. Иногда проволочное сопротивление заливают стеклом (остеклованное сопротивление).

В любом проволочном переменном сопротивлении имеется так называемая дужка из изоляционного материала, на которую и намотан провод. К этому проводу прижат подвижной контакт, закрепленный на оси переменного сопротивления. От подвижного контакта, так же как и от обоих концов проволоки, сделаны выводы в виде латунных лепестков, к которым можно легко подпаять монтажные провода. При поворачивании оси подвижной контакт перемещается по намотанному на дужку проводу, и при этом меняется сопротивление между подвижным контактом и крайними выводами. Существуют два способа включения переменных сопротивлений — в качестве реостата и в качестве потенциометра (делителя напряжений). В первом случае переменное сопротивление используется для регулировки тока в цепи, во втором — для регулировки напряжения, снимаемого с делителя, в роли которого и выступает переменное сопротивление.

Из проволоки, как правило, выполняются сопротивления от долей ом до нескольких десятков, а иногда и сотен ом. Непроволочные сопротивления имеют более широкие пределы — от нескольких ом до сотен тысяч мегом.

Основой непроволочного сопротивления обычно является небольшая керамическая трубка, на которую нанесен тончайший проводящий слой. Толщина этого слоя и его состав и определяют сопротивление детали. На концах керамической трубки закреплены металлические выводы, создающие надежный контакт с проводящим слоем. Снаружи вся деталь покрыта специальной краской (обычно красной или зеленой), предохраняющей

проводящий слой.

В непроволочных переменных сопротивлениях проводящий графитовый слой нанесен непосредственно на дужку, по которой движется подвижной контакт (ползунок). Эти сопротивления всегда помещают в металлический корпус, на котором иногда закреплен еще и выключатель, связанный с осью сопротивления. Это позволяет в приемнике управлять выключателем и сопротивлением с помощью одной ручки.

Величина сопротивлений (и постоянных и переменных) указывается непосредственно на их корпусе в омах (ом), килоомах (ком) или мегомах (Мом). Кроме того, указывается возможное отклонение от указанной величины, которое может составлять 5, 10 или 20 %.

На схемах величину сопротивления указывают с сокращениями (лист 38). Так, буква «к» обозначает ком, отсутствие букв говорит о том, что величина указана в омах, а величины, выраженные в мегомах, обозначаются в виде десятичной дроби (например 1,5 или 2,0).

Важной характеристикой любого сопротивления является его допустимая мощность.

Когда мы говорим о работе, выполняемой тем или иным устройством, очень важно знать, за какое время эта работа выполняется. Так, например, если вам предлагают насос, о котором известно только то, что он может перекачать 100 л воды, то представить себе такой насос совершенно невозможно, так как неизвестно, сколько времени понадобится, чтобы с его помощью выполнить эту работу. Если вся работа может быть выполнена за год, то, значит, это не насос, а игрушка, а если 100 л воды перекачивается за одну секунду, то, значит, нам достался очень мощный насос.

Работа, которая выполняется тем или иным устройством за единицу времени, называется мощностью (обозначается буквой Р). Единицей измерения мощности служит ватт (вт), который соответствует работе в 1 дж, выполненной за 1 сек (рис. 18, листы 39, 40).

Рис. 18. Мощность — это работа, выполненная электрическим током за одну секунду. Одну и ту же мощность можно получить при большом напряжении и малом токе или при малом напряжении и большом токе.

Если какое-либо устройство выполняет за 1 сек работу более чем 1 дж или работа 1 дж выполнена менее чем за 1 сек, то мощность устройства больше чем 1 вт. Более крупной единицей мощности является киловатт (квт), более мелкими единицами — милливольт (мвт) и микроватт (мквт).

Мощность является также характеристикой потребителей энергии. Так, например, если на осветительной лампочке указано, что ее мощность 200 вт, значит, потребляя меньшую мощность, она будет светиться недостаточно ярко. При большей мощности нить лампочки будет перегреваться и может даже перегореть.

На каждом сопротивлении указывается максимально допустимая для него мощность, при которой сопротивление не перегревается. Конечно, если подвести к сопротивлению меньшую мощность, то оно будет работать в еще более легких условиях, но если превысить допустимую мощность, указанную на сопротивлении, то проводящий слой перегреется и может совсем разрушиться (рис. 19).

Рис. 19. Выбирать сопротивление для какого-либо участка цепи нужно так, чтобы мощность, развиваемая на этом участке, не превышала бы величину, допустимую для данного сопротивления.

О допустимой мощности можно судить по внешнему виду сопротивления — чем больше его размеры, тем лучше оно рассеивает тепло, тем большую мощность можно подвести к этому

сопротивлению. На схемах радиоаппаратуры мощность, допустимая для того или иного сопротивления, обозначается определенной комбинацией черточек (лист 36). Само собой разумеется, что на практике можно использовать сопротивления, рассчитанные на мощность большую, чем это указано на схеме.

Мощность, потребляемая каким-нибудь участком цепи, определяется следующей формулой (лист 39):

где  $U$  — напряжение на этом участке, а  $I$  — проходящий по нему ток.

Объясняется эта формула очень просто: напряжение  $U$  — это работа, выполняемая при перемещении одного кулона, а ток  $I$  — количество кулонов, проходящих за 1 сек. Поэтому произведение тока на напряжение показывает полную работу, выполненную за 1 сек, то есть мощность (рис. 18).

Анализируя приведенную формулу, можно сделать очень важный вывод: поскольку мощность  $P$  в одинаковой степени зависит и от тока  $I$  и от напряжения  $U$ , то одну и ту же мощность можно получить либо при большом  $I$  и малом  $U$ , либо, наоборот, при большом  $U$  и малом  $I$ . И это вполне понятно, так как при увеличении той работы, которую выполняет каждый заряд, можно уменьшить число «работающих» зарядов и общая работа останется неизменной.

Подставляя в формулу для мощности значения  $U$  и  $I$ , взятые из закона Ома, можно получить очень удобные расчетные формулы, позволяющие определить мощность  $P$ , если известно  $U$  и  $R$  или  $I$  и  $R$  (лист 39).

Рассмотренные нами процессы, происходящие в электрических цепях, законы, которым подчиняются эти процессы, и формулы, которые их выражают, еще окажут вам очень большую помощь при разборе схем приемников, магнитофонов, телевизоров и другой радиоаппаратуры.

Дело в том, что после знакомства с полной схемой того или иного устройства изучают отдельные его элементы, которые в конечном итоге можно рассматривать как сравнительно простые цепи с последовательно или параллельно включенными сопротивлениями. Для того чтобы приобрести опыт в разборе таких схем, попробуйте рассмотреть схему, изображенную на листке 41, и по известным формулам (лист 42) подсчитать токи напряжения в различных участках, а также мощность в каждом из сопротивлений. Все решения этой задачи сведены в таблицу (лист 41).

Рассказывая об электрической цепи и происходящих в ней процессах, мы очень часто приводили вспомогательные примеры: падение топора, спуск саней, движение воды в трубе и т. п. Но, конечно, все эти примеры не заставили вас забыть о том, что в действительности мы имели дело с явлениями совсем другого рода, явлениями электрическими, которые имеют совершенно особую природу и лишь внешне напоминают приведенные нами простые аналогии.

На этом, пожалуй, мы могли бы закончить свое первое знакомство с электротехникой, хотя многие очень важные вопросы мы даже не затронули. Так, например, во всех случаях мы считали, что источником тока является батарейка и в цепи протекает постоянный ток, то есть ток, величина и направление которого не меняются. А ведь на практике мы очень часто имеем дело с переменным током, источником которого являются специальные генераторы. У такого тока непрерывно меняется не только величина, но и направление движения зарядов (рис. 20).

Рис. 20. В технике широкое распространение получили генераторы переменной э.д.с., на выходных зажимах которых знак и количество избыточных зарядов непрерывно меняются. Такие генераторы создают в цепи переменный ток.

Так, например, направление тока в электрической сети, которая приходит в наш дом с городской электростанции, меняется несколько десятков раз в течение секунды. Переменный ток, так же как и постоянный, может выполнять полезную работу. Ведь заряды, движущиеся то в одну, то в другую сторону, нагревают проводник и создают вокруг него магнитное поле, так же как и заряды, двигающиеся в одном направлении.

Переменный ток имеет ряд серьезных преимуществ перед постоянным. Главное из них, пожалуй, состоит в том, что переменный ток легко трансформировать, то есть с помощью специальных устройств — трансформаторов — можно в любом участке сложной цепи повысить или понизить напряжение до нужной нам величины.

Другое достоинство переменного тока: вокруг проводника, где он протекает, возникают радиоволны, с помощью которых и осуществляется радиопередача. Но об этом мы поговорим уже в следующей главе.

## Глава 2

### О РАДИОПЕРЕДАЧЕ И САМОМ ПРОСТОМ ПРИЕМНИКЕ

Все вы, наверное, знаете одно из самых сложных спортивных соревнований — марафонский бег — состязание в беге на дистанцию 42 километра 195 метров. Столь необычная дистанция, так же как и само название «марафонский бег» связано с древней легендой о греческом воине, пробежавшем такое расстояние из города Марафон в Афины с вестью о победе полководца Мильтиада над персами. Напрягая последние силы, изнемогая от непомерной физической нагрузки добежал гонец до окраины Афин, задыхаясь, сообщил радостную весть и упал бездыханный.

Еще каких-нибудь двести лет назад гонцы, скороходы, всадники, мчавшиеся на взмыленных лошадях, почтовые тройки, неделями пробирающиеся к месту назначения со срочной депешей, представляли собой единственную возможность для передачи сообщений. Для того чтобы сообщения о событиях в столице могли дойти до отдаленных районов Сибири или Дальнего Востока, иногда могло пройти несколько месяцев! Лучшие петербургские газеты публиковали свежие зарубежные новости надельной давности. А какими оторванными от мира чувствовали себя в далеком плавании моряки, лишенные каких бы то ни было средств связи с землей!

Это кажется смешным и странным в наши дни, когда телеграмма, отправленная из Москвы, уже менее чем через час вручается адресату во Владивостоке, когда зимовщики Антарктиды в любой момент могут узнать погоду на Северном полюсе, когда московские редакции газет в нужную минуту могут вызвать по телефону своих корреспондентов в Париже или Пекине, в Тамбове или Сан-Франциско и получить у них самые последние новости, когда, сидя у своего телевизора, вы видите и слышите то, что в данное мгновение происходит за несколько десятков и даже сотен километров от вас.

Все это стало возможным благодаря тому, что для передачи сообщений стали использовать самого быстрого гонца — электрический сигнал (рис. 21).

Рис. 21. Используя простейшую электрическую цепь, можно передавать сообщения с помощью условного кода.

Если бы древние греки располагали обычным карманным фонариком и необходимым количеством провода, то они смогли бы передать сообщение о победе своих войск из Марафона в Афины, не прибегая к помощи скорохода. Для этого нужно было бы в Афинах установить лампочку и соединить ее двумя проводами с установленным в Марафоне выключателем и батареей. Если сопротивление соединительных проводов (лист 43) не слишком велико, то при замыкании цепи с помощью выключателя, расположенного в

Марафоне, немедленно загорелась бы лампочка в Афинах[5]. Она могла бы играть роль простейшего телеграфа. Нужно было бы лишь договориться об условном коде (например, короткий сигнал — «поражение», продолжительный — «победа») и, замыкая цепь с помощью выключателя, передавать сообщение.

Самое замечательное, что расстояние 42 км, которое лучшие бегуны преодолевают более чем за два часа (рекорд около 2 часов 18 минут), электрический сигнал пройдет всего лишь за 0,00015 секунды! Вы только не подумайте, что за это время электроны успеют пройти из Марафон в Афины. Электроны двигаются очень медленно — в среднем их скорость не превышает нескольких километров в час. Но благодаря тому, что при замыкании электрической цепи ток начинается почти одновременно во всех ее участках, лампочка в Афинах загорится почти одновременно с тем, как будет замкнут выключатель в Марафоне. Слово «почти» мы применили здесь не случайно, так как в действительности лампочка загорится с некоторым опозданием. Попытаемся пояснить это подробнее.

Вы, наверное, видели, как трогается с места железнодорожный состав: паровоз делает рывок, медленно начинает двигаться и почти одновременно с ним начинают двигаться все вагоны. Это несколько напоминает то, что происходит в электрической цепи: сами вагоны, подобно электронам, двигаются медленно, но почти одновременно начинается движение всего состава, так же как почти одновременно начинается электрический ток во всех участках цепи.

Рассказывая о поезде, мы опять не случайно применили слово «почти», и вы можете сами убедиться в том, что без этого слова обойтись нельзя. Движение паровоза не сразу передается всему составу: сначала сдвигается с места первый вагон, за ним — второй, тот увлекает за собой третий, затем сдвигается четвертый, и так, передаваясь от вагона к вагону, рывок, который сделал паровоз, доходит до конца состава.

Лишь через некоторое время последний вагон как бы получит сигнал о том, что паровоз сдвинулся с места. Для железнодорожного состава время это, конечно, невелико, и поэтому мы говорим, что все вагоны начинают двигаться одновременно, но для точности прибавляем слово «почти».

В отдаленных участках электрической цепи электроны начинают двигаться с некоторым опозданием, так же как и отдаленные от паровоза вагоны. Однако, сравнивая электрический ток с движением железнодорожного состава, необходимо отметить два существенных момента.

Во-первых, движение от электрона к электрону передается не благодаря непосредственным толчкам, а в результате взаимодействия электрических сил, а точнее, в результате движения вдоль проводника электрического поля, о котором мы еще поговорим.

И во-вторых, скорость распространения рывка паровоза по железнодорожному составу (обычно несколько десятков километров в час) даже в сравнение не может идти со скоростью распространения по проводу электрического «толчка» — электрический сигнал движется со скоростью 300 000 километров в секунду! Это так называемая скорость света, которая присуща всем без исключения электрическим и магнитным процессам, в том числе и свету, имеющему, как известно, электромагнитную природу (рис. 22).

Рис. 22. Сами электроны (или положительные ионы), образующие ток, двигаются сравнительно медленно, но их движение начинается практически одновременно во всех точках цепи. Скорость распространения «электрического толчка» — 300 000 км/сек (скорость света).

Скорость света является самой высокой скоростью, встречаемой в природе. Она настолько велика, что электрический сигнал,двигающийся со скоростью света из Москвы, через 0,03

секунды придет во Владивосток и менее чем за полторы секунды десять раз обогнет земной шар или доберется до Луны. Да что говорить! Если построить космический корабль, который будет двигаться с такой же скоростью, как и электрический сигнал, то на этом корабле можно будет за каких-нибудь пять минут добраться до Марса!

Наряду с исключительно высокой скоростью у электрического сигнала есть еще одно замечательное достоинство — он очень легко поддается самым различным преобразованиям. Именно это и определило появление таких средств связи, как буквопечатающий телеграф, телефон, фототелеграф. Очень интересные преобразования электрического сигнала лежат в основе радиопередачи и радиоприема. С некоторыми из этих преобразований мы сейчас и познакомимся. ПЕРВЫЙ РАЗГОВОР О РАЗГОВОРЕ

Задумывались ли вы когда-нибудь над тем, что представляет собой звук? Каким образом слова, которые вы произносите, доходят до собеседника?

Звуки вашего голоса, так же как и все окружающие нас звуки, представляют собой колебания воздуха или, иначе, звуковые волны (рис. 23).

Рис. 23. Звуки нашего голоса, как и все окружающие нас звуки, представляют собой колебания воздуха или так называемые звуковые волны.

Вы тронули гитарную струну, она пришла в движение и увлекла за собой окружающий воздух: под действием колеблющейся струны воздух вблизи нее то сжимается, то, наоборот, становится разреженным. Эти изменения давления воздуха передаются все дальше и дальше, и во все стороны от струны движутся звуковые волны, подобно тому как по поверхности пруда расходятся волны от брошенного в воду камня.

Примерно то же самое происходит и при разговоре, когда воздушный поток, выдыхаемый легкими, формируется в звуковые колебания с помощью голосовых связок, губ, языка, зубов, гортани и носовой полости. Возникающие при разговоре звуковые волны доходят до вашего собеседника, в ушах которого расположены органы, чувствительные к звуковым колебаниям. Оттуда по тончайшим нервам сигнал поступает прямо в мозг, вызывая у человека определенное ощущение услышанного звука.

То, что звук представляет собой колебания воздуха, доказывают простые опыты. Так, например, если электрический звонок поместить в баллон, из которого выкачан воздух, то никакого звонка слышно не будет, так как в безвоздушном пространстве звук появиться не может.

Самая толстая струна гитары колеблется медленно и создает такие же медленные колебания воздуха. Чем тоньше струна, тем она подвижнее, тем быстрее будут ее колебания и тем, следовательно, чаще (то есть выше по тону) будут создаваемые этой струной колебания воздуха (лист 48). Точно так же мы можем создавать быстрые и медленные звуковые колебания, управляя нашими органами речи в процессе разговора. А из этих колебаний при самом разнообразном их сочетании уже образуются слова.

Для того чтобы не пользоваться такими расплывчатыми понятиями, как «быстрые колебания» или «медленные колебания», введено точное понятие «частота колебаний», которое указывает, сколько колебаний произошло за единицу времени. Единицей измерения частоты служит один герц (сокращенно гц), соответствующий одному колебанию в секунду (лист 46).

Струна, которая в секунду совершает 600 колебаний, создает звук с частотой 600 гц, а если такое же число колебаний произойдет за одну минуту, то есть за 60 секунд, то частота составит 10 гц.

Более крупные единицы частоты — килогерц (кгц) и мегагерц (Мгц). Все эти единицы



используются для измерения частоты любых колебаний, независимо от их физической природы. В герцах измеряется и частота колебаний струны, и частота звука, и частота переменного тока.

Воспринимая звуки, мы различаем их по нескольким признакам, в том числе по длительности, громкости и частоте. Определенные сочетания звуков различной длительности, громкости и частоты и образуют прекрасную мелодию, знакомое слово, рокот мотора или шум морского прибоя.

Ухо человека способно слышать звуковые колебания с частотами от 20 гц до 20 000 гц (20 кгц). Звуки с частотой более 20 кгц (ультразвук) и менее 20 гц (инфразвук) мы не слышим (лист 47). Указанные границы, конечно, не являются строгими — для каждого человека они могут отклоняться в ту или иную сторону.

Обычно мы не всегда полностью используем возможности нашего слуха. Так, например, музыкальные инструменты, входящие в симфонический оркестр, в основном создают звуковые колебания с частотами от 25 гц до 13 кгц, и поэтому, слушая оркестр, нам не обязательно воспринимать звуки с более высокими частотами, хотя они и создают определенную «окраску» звучания оркестра.

Если же несколько снизить требования к естественности звучания, то при слушании музыкальных произведений можно ограничиться максимальной частотой 10, иногда даже 5 кгц и минимальной частотой 50—100 гц. Для того же: чтобы удовлетворительно воспринимать разговорную речь, достаточно слышать звуковые колебания с частотами от 300 до 3400 гц. Речь будет оставаться разборчивой даже в том случае, если будут воспроизводиться звуки с частотами всего лишь до 1500 гц.

Все эти данные получены в результате опытов, при которых качество звучания оценивалось большим числом людей. Полученные результаты учитывают при разработке звуковоспроизводящей аппаратуры. Так, например, радиоприемники высшего класса воспроизводят звуки с максимальной частотой 10—12 кгц, в более дешевых приемниках ограничиваются максимальной частотой 5—6 кгц. Это хотя несколько ухудшает качество звучания, но зато позволяет упростить приемник, а значит, и снизить его стоимость. Для аппаратуры телефонной связи верхняя граница воспроизводимых частот всего 2—2,5 кгц.

Человеческое ухо — замечательный прибор. Оно ощущает самые незначительные изменения частоты звука: достаточно частоте измениться всего на несколько десятых долей процента, как ухо тотчас же это услышит. Ухо отличается очень высокой чувствительностью к слабым звукам: оно слышит даже такие слабые звуки, которые оказывают на поверхность барабанной перепонки давление с силой 0,0000003 грамма. Под действием этих звуков сама барабанная перепонка колеблется с «размахом» не более одной десятиллионной доли миллиметра!

И все же, несмотря на столь высокую чувствительность нашего слухового аппарата, мы можем разговаривать с собеседником, находясь лишь на сравнительно близком расстоянии от него. Можно крикнуть так, чтобы вас услышали на противоположной стороне улицы, но как бы громко вы ни кричали в Москве, вас все равно не услышат в Ленинграде. Это в первую очередь связано с тем, что звуковые волны по мере своего продвижения вперед очень быстро ослабевают. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГОНЕЦ

Вы разговариваете по телефону, и на другом конце линии далекий собеседник слышит ваш голос. Каким же образом человеческая- речь, которая обычно не слышна дальше чем на несколько десятков метров, проходит по телефонной линии сотни и тысячи километров? Неужели небольшой телефонный аппарат передаст возникающие при разговоре колебания воздуха на такие огромные расстояния? Конечно, нет! Звуковые колебания практически не

выходят за пределы комнаты, где вы говорите, а для передачи разговора используется электрический ток, который проходит по проводам, соединяющим телефонные аппараты.

В трубке нашего аппарата имеется угольный микрофон — небольшая коробочка с угольным порошком и крышкой в виде тонкой угольной пластинки (лист 44). Микрофон вместе с батареей включен в телефонную цепь таким образом, что через угольный порошок все время проходит ток. При разговоре под действием звуковых волн меняется давление воздуха на порошок, а следовательно, и плотность порошка. При этом меняется и электрическое сопротивление микрофона: плотно сжатые крупинки угольного порошка намного легче пропускают электрический ток, чем тогда, когда они находятся в разрыхленном состоянии. Изменение сопротивления микрофона, в свою очередь, приводит к соответствующему изменению тока (в полном соответствии с законом Ома!), и поэтому при разговоре ток в цепи микрофона изменяется, в точности повторяя все изменения звукового давления.

На другом конце цепи включена намотанная тонким проводом катушка телефона (слово «телефон» имеет два значения; здесь под телефоном понимается прибор для воспроизведения звука, часто называемый наушником), к которой прилегает мембрана — тонкая стальная пластинка (лист 45). Под действием тока, проходящего по катушке (вы еще не забыли, что проводник с током — это тот же магнит?), мембрана телефона намагничивается и притягивается к ней. А так как при разговоре ток в цепи меняется, то меняется и сила притяжения мембраны.

Вследствие этого мембрана колеблется и создает звуковые колебания, почти в точности соответствующие звуку, произнесенному перед микрофоном.

Таким образом, при телефонном разговоре происходят два основных преобразования: на передающей стороне с помощью микрофона звуковые колебания преобразуются в электрические, а на приемной стороне электрические колебания преобразуются в звуковые. Между микрофоном и телефоном циркулирует только электрический ток (рис. 24).

Рис. 24. При разговоре меняется звуковое давление на угольный порошок микрофона, меняется его сопротивление, а значит, и ток в цепи. Это, в свою очередь, приводит к тому, что меняется сила притяжения мембраны к катушке (электромагниту) телефона, мембрана начинает колебаться и создает звуковые волны.

Целесообразность этих преобразований очевидна: электрический сигнал — это надежный, быстрый и неутомимый гонец: он проходит огромные расстояния с молниеносной быстротой, почти в миллион раз быстрее звука.

Но как быть, если нужно установить связь без проводов, например с самолетом, с кораблем, бороздящим моря у берегов Антарктики, или получить сообщение с борта космической ракеты?

Здесь-то и проявляются замечательные преимущества линий радиосвязи, на которых передача электрических сигналов осуществляется без проводов, с помощью электромагнитных волн, распространяющихся в пространстве со скоростью света.

**НЕСКОЛЬКО СЛОВ О САМОМ СЛОЖНОМ**

Наиболее сложные понятия, с которыми приходится сталкиваться при изучении электротехники и радиотехники, — это понятия об электрическом, магнитном и электромагнитном поле. И дело здесь, пожалуй, не в том, что электрическое или магнитное поля нельзя увидеть или потрогать рукой. Ведь мы довольно четко, хотя и упрощенно, представляем себе атом, несмотря на то что посмотреть на него не можем.

Основная трудность состоит в том, что невозможно представить себе какую-нибудь модель поля подобно тому, как мы рисуем в своем воображении упрощенную модель атома.

Понятие об электрическом, магнитном и электромагнитном полях лучше всего, взять из простейших опытов. Затем можно будет дополнить и развивать эти понятия, используя огромные достижения математики и физики в области изучения полей.

Электрическое поле возникает вокруг всякого электрического заряда или вокруг предмета, на котором имеется избыток зарядов какого-нибудь одного знака. Мы потерли о шерсть пластмассовую палочку или обычную гребенку, создав на ней избыток отрицательных зарядов, и пространство вокруг гребенки приобрело какие-то особые свойства: мелкие клочки бумаги, попадая в это пространство, начинают притягиваться к ней. Каким образом наэлектризованная гребенка действует на клочки бумаги? Может быть, действие электрических сил передается через частицы окружающего воздуха?

Ни в коем случае! Если мы сделаем свой опыт в пустоте, то клочки бумаги будут так же притягиваться к гребенке, как и в воздухе или в каком-либо другом газе (рис. 25).

Рис. 25. С электрическим зарядом связаны невидимые и неосознаваемые, но реально существующие особые формы материи: вокруг неподвижного заряда всегда существует электрическое поле, а если заряд движется, то вокруг него возникает еще и магнитное поле.

Значит, дело здесь не в молекулах, атомах или других частицах окружающей среды. Значит, вокруг электрического заряда (в данном случае вокруг наэлектризованной гребенки) существует какое-то особое состояние пространства, какая-то особая форма материи, через которую и передается действие электрических сил. Эта особая форма материи, существующая наряду с такой известной нам формой материи, как вещество, и есть электрическое поле.

Науке уже многое известно об электрическом поле. Известно, например, что оно обладает определенной массой и запасом энергии (в нашем опыте эта энергия расходуется на перемещение к гребенке клочков бумаги). Многого об электрическом поле мы еще не знаем, однако факт его существования, подтвержденный многочисленными опытами, не может вызывать никаких сомнений.

Другая особая форма материи, существование которой также подтверждается опытами, — это магнитное поле. Магнитное поле появляется как следствие движения электрических зарядов. В этом легко убедиться, если поднести компас к проводнику, по которому течет постоянный ток (рис. 7). Под действием магнитного поля, возникающего вокруг проводника с током, стрелка компаса несколько отклонится, так же как она отклонилась бы под действием обычного магнита. Магнитное поле, как и электрическое, обладает запасом энергии (в нашем примере часть этой энергии расходуется на поворот стрелки компаса).

Электрическое и магнитное поля тесно связаны с электрическим зарядом или его движением: уберете заряд — и электрическое поле исчезнет; прекратите ток в цепи — и магнитного поля нет. Но можно получить электрическое и магнитное поля, а точнее, более сложное, электромагнитное поле, не связанное с электрическими зарядами, как бы оторванное от них.

Электромагнитное поле имеет черты как электрического поля (как говорят, имеет электрическую составляющую), так и магнитного поля (магнитная составляющая). Это значит, что электромагнитное поле могло бы при определенных условиях и поворачивать стрелку компаса, подобно магнитному полю, и перемещать электрические заряды, подобно электрическому полю.

Электрическая и магнитная составляющие тесно связаны между собой, и каждая из них обладает запасом энергии, определяющим энергию всего электромагнитного поля.

Электромагнитное поле возникает при любом, даже незначительном изменении тока в проводнике. Изменяясь вместе с током, оно воздействует на соседние участки пространства,

передает им свою энергию, и в этих, соседних участках также образуется электромагнитное поле. Таким образом, во все стороны от проводника, со скоростью света — 300 000 км/сек — все дальше и дальше движется волна электромагнитного поля, перенося с собой запасы энергии, которые она получила еще в месте своего возникновения.

Если любое изменение тока в проводнике вызывает появление электромагнитной волны, то что произойдет, если ток в проводнике будет переменным?

Прежде чем отвечать на этот вопрос, давайте несколько дополним наши сведения о переменном токе.

Когда мы говорим, что в цепи протекает переменный ток, то это значит, что направление движения электронов и их скорость все время меняются. Можно упрощенно представить себе картину движения электронов при переменном токе: сначала электроны двигаются медленно, затем скорость их постепенно нарастает и, наконец, достигает максимальной величины. В этот момент ток в цепи становится максимальным, или, как говорят, достигает амплитудного (наибольшего) значения. Затем скорость движения электронов уменьшается, и, наконец, они останавливаются. Однако заряды практически на месте не стоят — они моментально начинают двигаться в обратную сторону и, постепенно ускоряя свое движение, вновь набирают максимальную скорость. В этот момент ток в цепи опять нарастает до своего амплитудного значения (амплитуда тока противоположного направления), а затем вновь уменьшается до нуля. Этим и завершается полный цикл движения зарядов, после чего весь процесс повторяется снова и снова (рис. 26).

Рис. 26. При переменном токе заряды двигаются то в одну, то в другую сторону, но они так же хорошо могут «работать», как и заряды, двигающиеся в одном направлении.

Время, в течение которого происходит весь этот цикл изменений тока, называется периодом и обозначается буквой  $T$ . Одно из направлений переменного тока (безразлично какое) условно называют положительным, а противоположное направление — отрицательным. В связи с этим часто употребляют такие выражения: «положительный полупериод» и «отрицательный полупериод». Имеется в виду половина всего периода, соответствующая положительному или отрицательному направлению тока (лист 49).

Важными характеристиками переменного тока являются его частота и амплитуда. Амплитуда, как и всякое другое значение тока, указывается в амперах (миллиамперах, микроамперах). Частота переменного тока (обозначается буквой  $f$ ) так же, как и частота звуковых колебаний, — это число периодов в одну секунду, измеряемое в герцах.

Мы уже отмечали, что при всяком изменении тока от проводника отходит электромагнитная волна. Когда же в проводнике протекает переменный ток (давайте такой проводник сразу же назовем передающей антенной), то электромагнитные волны отходят от этого проводника одна за другой, подобно волнам, расходящимся по воде от вращающегося корабельного винта (рис. 28).

Электромагнитные волны, в отличие от магнитных и электрических полей, не связаны со своими источниками: они свободно перемещаются в пространстве и могут проходить огромные расстояния. Наиболее ярким подтверждением этого являются световые лучи (а лучи света по своей физической природе — это те же электромагнитные волны), пришедшие к нам от далеких звезд, многие из которых, может быть, уже давно прекратили свое существование.

Поскольку ток в передающей антенне все время меняет свою величину и направление, то и электромагнитные поля вокруг антенны тоже все время меняются. Рассматривая процесс очень упрощенно, можно представить себе, что в какой-то точке, расположенной вдали от передающей антенны, в различные моменты времени электромагнитное поле с различной

силой будет поворачивать стрелку компаса или перемещать электрические заряды (рис. 27).

Рис. 27. Вокруг проводника, по которому течет переменный ток, появляются электромагнитные волны (радиоволны) — переменные электромагнитные поля, свободно перемещающиеся в пространстве со скоростью света.

Если бы удалось на короткое мгновение остановить движение электромагнитных волн, то мы увидели бы периодически чередующиеся районы с сильным электрическим и магнитным полем, причем с полями различного направления. Последнее упрощенно можно понимать так, что если поле одного направления двигает попавшие в него электроны (или поворачивает стрелку компаса) вверх, то поле противоположного направления двигает эти заряды вниз.

В действительности же электромагнитную волну остановить нельзя — порожденные переменным током, взаимно связанные друг с другом электрические и магнитные поля непрерывно расходятся от передающей антенны со скоростью света.

Важной характеристикой электромагнитного излучения, как, впрочем, и всякого волнового процесса, является длина волны (обозначается буквой  $\lambda$ ). Весьма просто определить длину волны, которую создает брошенный в воду камень: она будет представлять собой расстояние между двумя соседними гребнями или между двумя впадинами. Подобно этому длина электромагнитной волны — это расстояние между двумя ближайшими точками, где электромагнитные поля в один и тот же момент времени действуют с наибольшей силой и в одинаковых направлениях (рис. 28).

Рис. 28. Длина электромагнитной волны — это расстояние между двумя ближайшими точками, где электрическая (или магнитная) составляющая поля в один и тот же момент времени действует с наибольшей силой и в одинаковых направлениях. Длина волны тем меньше, чем больше частота переменного тока в передающей антенне.

Длина волны зависит от частоты переменного тока ( $f$ ), который создает излучение: чем выше эта частота, тем чаще следует одна волна за другой, тем меньше расстояние между их «гребнями». Кроме того  $\lambda$  зависит и от скорости распространения волн: чем быстрее движется волна, тем меньше расстояние она успеет пройти за время одного периода (одного полного цикла) переменного тока в передающей антенне, тем, следовательно, ближе будет отстоять одна волна от другой.

Для электромагнитных волн зависимость между длиной волны  $\lambda$  и частотой  $f$  определяется следующими простыми формулами:

Здесь  $c$  — это скорость распространения электромагнитных волн (скорость света), равная 300 000 км/сек. Существуют и более простые для вычислений формулы (см. табл. на листе 50).

Электромагнитные волны длиной от нескольких миллиметров до нескольких километров обычно называют радиоволнами, так как именно они используются для радиосвязи, радиовещания, радиолокации и телевидения. Более короткие электромагнитные волны — это инфракрасные, световые, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи.

Поместим на пути радиоволн обычный проводник (его можно сразу же назвать приемной антенной), и они тотчас же «наведут» в этом проводнике переменный ток (рис. 29), который будет точной копией тока в передающей антенне, но, конечно, будет несравненно слабее его.

Рис. 29. Электромагнитные волны наводят в приемной антенне переменный ток и, таким

образом, переносят от передатчика к приемнику определенную энергию.

Наведение тока в приемной антенне можно объяснить упрощенно тем, что под действием электрической составляющей поля электроны в проводнике упорядоченно перемещаются, как перемещались кусочки бумаги, попавшие в электрическое поле гребенки. В перемещении электронов принимает участие и магнитная составляющая поля, так как электрон, кроме электрического заряда, обладает еще магнитными свойствами, чем-то напоминая стрелку компаса.

Радиоволны непрерывно движутся мимо приемной антенны, и непрерывно меняется направление и сила воздействия электромагнитного поля на свободные электроны проводника. Поэтому-то и ток в приемной антенне изменяется с той же частотой, что и ток в антенне передатчика.

Итак, с помощью переменного тока в передающей антенне мы получили такой же (конечно, не по силе!) переменный ток в приемной антенне: электромагнитные волны помогли нам установить связь между этими антеннами без соединительных проводов.

Теперь наша задача — научиться использовать эту линию связи, научиться передавать по ней сообщения. ПЕРЕДАЧА ИДЕТ

Казалось бы, что проще всего можно установить радиосвязь, включив микрофон в передающую антенну, а телефон — в приемную. Действительно, при разговоре будет меняться ток в цепи микрофона, в результате чего вокруг передающей антенны будут появляться электромагнитные волны. Эти волны наведут в приемной антенне, то есть в цепи телефона, соответствующий переменный ток, под действием которого будет колебаться мембрана.

На первый взгляд как будто бы все правильно. Однако практически такая система непригодна хотя бы потому, что для подобной линии радиосвязи пришлось бы строить передающие антенны высотой в десятки и сотни километров. При более коротких антеннах радиоволны будут излучаться настолько слабо, что ни о каком приеме их нельзя будет и думать.

Дело в том, что эффективность излучения радиоволн зависит от высоты передающей антенны и от частоты переменного тока: чем больше эта частота и чем выше антенна, тем эффективнее будет происходить излучение. В этом отношении передающая антенна немного напоминает обычный вентилятор, воздушный поток от которого будет тем сильнее, чем больше лопасти вентилятора и чем быстрее они вращаются. Сходство это, конечно, весьма условное, так как излучение электромагнитных волн и образование воздушного потока — совершенно разные физические процессы.

Теоретически подсчитано и практически подтверждено, что для эффективного излучения высота передающей антенны должна составлять не менее 5—10 % от длины волны. Еще лучше, если длина антенны будет равна половине или в крайнем случае четверти ?

Теперь видно, какие огромные антенны пришлось бы строить для эффективного излучения на низких частотах, где длина волны лежит в пределах от 15 км ( $f = 20$  кгц) до 15 000 км ( $f = 20$  гц). Поскольку строить антенны высотой более 100–200 м сложно и дорого, то для радиосвязи и радиовещания, как правило, используют электромагнитные волны не длиннее 2000 м, то есть радиоволны, образованные переменным током с частотой выше 150 кгц (рис. 30).

Рис. 30. Для эффективного излучения радиоволн используют токи высокой частоты — обычно от 100 кгц до многих тысяч мегагерц. Радиовещательным станциям отведено четыре частотных участка, получивших название диапазонов длинных, средних, коротких и ультракоротких волн.

И хотя резкой границы никто не устанавливал, но все же частоты более 100–150 кгц занимают в радиотехнике особое положение и называются высокими частотами. Верхняя граница высоких частот, используемых для радиопередачи, простирается очень далеко. Так, например, в радиолокации и некоторых видах радиосвязи используются радиоволны длиной в несколько сантиметров, что соответствует частоте в несколько тысяч мегагерц, но и это еще не предел.

Эффективное излучение электромагнитных волн — это только одна из причин, заставивших использовать для радиосвязи токи высоких частот. Другое, пожалуй, еще более серьезное достоинство высокочастотной радиосвязи состоит в том, что она позволяет одновременно работать большому числу радиостанций, причем эти станции не мешают друг другу и в приемнике всегда можно выделить нужную нам станцию среди множества других.

Для того чтобы можно было в месте приема как-нибудь отличить сигналы одной станции от другой, каждой из них присваивается определенная частота. Как вы увидите дальше, если передающая станция работает на определенной и никем не занятой частоте (то есть излучает радиоволны вполне определенной длины), то сигналы этой станции можно выделить из бесчисленного множества других сигналов, которые появляются в антенне приемника под действием радиоволн, приходящих со всех сторон света.

Частоты соседних радиовещательных станций, то есть тех станций, которые ведут передачи для широкого круга радиослушателей, разносят на 10 кгц одну от другой (лист 53). Так, например, если какая-нибудь радиовещательная станция работает на частоте 500 кгц, то ближайшие к ней (соседние) станции могут работать на частотах 490 и 510 кгц. Частоты радиостанций, работающих на линиях служебной связи, особенно телеграфных, располагают значительно ближе друг к другу.

Для работы радиовещательных станций выделено четыре частотных участка, или, как принято говорить, четыре диапазона: длинных (ДВ), средних (СВ), коротких (КВ) и ультракоротких (УКВ) волн (лист 51).

Длинные и средние волны почти полностью отведены для радиовещания. На коротковолновом диапазоне вещательные станции занимают несколько небольших участков (лист 52), которые обычно называют так: «участок 25 метров», «участок 31 метр», «участок 49 метров» и т. д. На ультракоротких волнах для радиопередач имеется всего один участок, в котором, правда, можно разместить во много раз больше станций, чем во всем длинноволновом диапазоне, несмотря на то что частоты вещательных УКВ радиостанций отстоят друг от друга на 250 кгц (лист 53).

Каждый из перечисленных диапазонов имеет свои особенности, которые полезно знать (лист 54). Так, например, на длинных волнах и днем и ночью слышны не только близкие радиостанции, но и станции, которые находятся на расстоянии 500—1000 км от места приема. На средних волнах далекую станцию днем вы никогда не услышите, зато вечером, и особенно ночью, на этом диапазоне появляется множество дальних радиостанций, расстояние до которых может достигать 2–3 тысячи километров. Для коротких волн непреодолимых расстояний на Земле не существует. Так, например, московские коротковолновые радиостанции хорошо слышны и в Ленинграде, и в Новосибирске, и в Алма-Ате, и во Владивостоке.

Дальнее распространение коротких волн происходит за счет их отражения от так называемой ионосферы. На высоте 50—600 км земной шар окружает несколько ионизированных «оболочек» — несколько слоев разреженных газов, атомы которых превратились в положительные или отрицательные ионы. Такие ионизированные слои представляют собой проводники тока (лист 8) и, подобно большим металлическим зеркалам, хорошо отражают радиоволны.

Радиоволны от передатчика к приемнику могут распространяться двумя путями — земным и отраженным лучом. На коротких волнах земной луч проходит очень недалеко, но зато радиоволны, отраженные от ионосферы или несколько раз отраженные от ионосферы и Земли (отраженный луч), могут проходить огромные расстояния почти без всяких потерь. Возможность радиоприема отраженного луча была случайно обнаружена радиолюбителями около сорока лет назад, когда с помощью передатчиков очень небольшой мощности удалось осуществить связь между Европой и Америкой.

Возможность вести связь отраженным лучом не для всех диапазонов одинакова. Так, на средних волнах отраженный луч появляется только ночью (именно поэтому средневолновые станции днем слышны лишь на близких расстояниях), а ультракороткие волны от ионизированных слоев практически совсем не отражаются. Что касается диапазона коротких волн, то здесь для радиовещания и связи используется только отраженный луч (за редким исключением), чем и объясняется большой радиус действия коротковолновых станций.

Необходимо отметить, что под действием солнечных лучей и ряда других факторов меняется высота и плотность ионизированных слоев, и поэтому условия приема в коротковолновом диапазоне не только резко изменяются на протяжении суток, но зависят еще и от времени года. На участке 25 м, например, дальние станции обычно хорошо слышны днем. На участке 75 м условия приема улучшаются ночью.

На всех диапазонах в той или иной степени возникают помехи радиоприему. Они представляют собой радиоволны, которые появляются при резких изменениях тока в какой-либо цепи и попадают в приемник помимо нашего желания. Все радиопомехи делятся на две группы: атмосферные, которые возникают при разряде молнии, и промышленные, источником которых могут быть различного рода искрящие выключатели, коллекторные моторы, сварочные аппараты и т. п.

Особенно сильны помехи на длинных волнах; на средних и коротких они значительно слабее. На ультракоротких волнах помех почти совсем нет. Это одна из причин, позволяющих на УКВ вести прием при очень высоком качестве звучания, что в сильной степени компенсирует такой существенный недостаток УКВ радиостанции, как ограниченный радиус действия (УКВ радиостанции обычно удается принимать на расстояниях не более 60—120 км).

Итак, для радиосвязи и радиовещания могут быть использованы токи высокой частоты (ВЧ), которые при сравнительно небольших передающих антеннах позволяют эффективно излучать радиоволны. Токи высокой частоты создаются на радиопередатчике с помощью специальных генераторов (генераторы ВЧ). Если каким-нибудь образом управлять током в антенне передатчика (то есть фактически управлять излучением радиоволн), то можно заставить радиоволны «переносить» определенные сообщения, подобно тому как электрический ток в телефонной линии «переносил» разговор от одного аппарата к другому.

Проще всего осуществить радиопередачу с помощью азбуки Морзе. Для этого достаточно в антенну передатчика включить телеграфный ключ — своего рода выключатель (рис. 31).

Рис. 31. Чтобы заставить радиоволны переносить сообщения можно, замыкая цепь антенны, излучать радиоволны в соответствии с азбукой Морзе.

Нажали вы на ключ — и токи высокой частоты пошли в антенну, а значит, во все стороны от антенны расходятся радиоволны. Отпустите ключ — цепь антенны окажется разорванной, и излучение радиоволн прекратится. При коротком нажатии на ключ вы посылаете короткий радиосигнал, получивший название «точки», более длительный сигнал (обычно в три раза продолжительнее точки) называется «тире». В азбуке, которую в 1837 году составил Самюэль Морзе, каждой букве алфавита и каждой цифре соответствует определенное сочетание «точек» и «тире». Это позволяет сравнительно просто передавать телеграммы как



по проводным линиям связи, так и по линиям радиосвязи (лист 55).

Первая телеграмма была передана по радио А. С. Поповым в 1896 году, и почти двадцать лет радио использовалось лишь для телеграфной связи. Ну, а затем были найдены способы радиотелефонной передачи, то есть передачи по радио речи и музыки.

Для того чтобы наиболее просто осуществить радиотелефонную передачу, можно включить обычный угольный микрофон непосредственно в передающую антенну, в которой уже циркулирует переменный ток высокой частоты. Под действием звуковых волн сопротивление микрофона будет меняться, и поэтому высокочастотный ток в антенне, а следовательно, и интенсивность излучения радиоволн, также будет изменяться, подобно тому как менялся при разговоре ток в телефонной линии (рис. 24, 32).

Рис. 32. Для радиотелефонной (речь, музыка) передачи можно включить в цепь антенны обычный угольный микрофон. Под действием звуковых волн будет меняться сопротивление микрофона, а вместе с тем и амплитуда высокочастотного тока и интенсивность излучения радиоволн.

Управление высокочастотным сигналом в соответствии со звуковыми колебаниями называется модуляцией (лист 55). Основной отличительной чертой модулированного тока является изменение его амплитуды в такт с изменением звукового давления на микрофон. Так, например, при увеличении звукового давления угольный порошок сжимается все сильнее, сопротивление микрофона уменьшается и амплитуда высокочастотного тока возрастает. При уменьшении звукового давления сопротивление микрофона растет, а амплитуда тока в антенне уменьшается. Важно отметить, что благодаря высокой частоте переменного тока в антенне в процессе модуляции амплитуда его меняется сравнительно медленно. Это объясняется тем, что даже самая высшая частота модулирующего звука в десятки и сотни раз меньше частоты тока, который подвергается модуляции. Поэтому за время одного периода звуковых колебаний успевают произойти десятки, сотни и тысячи полных периодов модулируемого тока (тока ВЧ). Так, например, если на микрофон воздействует звук с частотой 10 кгц, а передатчик работает на частоте 200 кгц, то за время одного периода звуковых колебаний произойдет двадцать циклов изменения высокочастотного тока, а значит, ток в антенне двадцать раз достигает амплитудных значений (положительных и отрицательных).

В радиопередатчиках включение микрофона в антенну в настоящее время не применяется. Для модуляции используется электрический ток низкой частоты (ИЧ), который появляется в обычной микрофонной цепи во время разговора. Этот низкочастотный ток в дальнейшем управляет работой высокочастотного генератора, в результате чего и появляется модулированный сигнал. Модулированный ток в передающей антенне создает модулированные радиоволны, которые, в свою очередь, наведут модулированный ток в антенне приемника.

Независимо от того как осуществляется модуляция, ее результатом является то, что слова, произнесенные перед микрофоном, оказываются как бы «зашифрованными» в радиоволнах, подобно тому как «зашифровываются» слова в изменениях электрического тока, протекающего по телефонным проводам.

Теперь необходимо в приемнике «расшифровать» сообщение, которое принесли с собой радиоволны, то есть получить соответствующие звуковые колебания, — такие же, какие воздействовали на микрофон на передающей стороне нашей линии радиосвязи. **ПЕРВЫМ ДЕЛОМ НУЖЕН ДЕТЕКТОР!**

Мы уже знаем, что под действием электромагнитных волн в антенне приемника появился переменный ток. Он имеет ту же частоту, что и ток в антенне передатчика, и точно так же

промодулирован. Попробуем по аналогии с телефонной линией сразу же преобразовать электрический сигнал в звуковые колебания и для этого переменный ток из приемной антенны подведем прямо к телефону (рис. 33).

Рис. 33. Включив телефон непосредственно в цепь приемной антенны, мы ничего не услышим, так как радиоволны наводят в приемной антенне токи высокой частоты, а слышимый звук могут создавать лишь токи низкой частоты. Чтобы в приемнике можно было воспроизвести звук, необходимо осуществить преобразование высокочастотного сигнала — детектирование.

Может быть, при этом мембрана начнет колебаться и мы услышим слова, которые в этот момент произносятся перед микрофоном на передающей стороне? Ничего подобного! Ведь в антенне приемника, так же как и в антенне передатчика, протекает ток высокой частоты — 150 кгц и более, а мембрана нашего телефона из-за ее инерции не успевает колебаться с такой большой частотой. Если бы даже удалось сконструировать телефон, который воспроизводил бы высокие частоты, то ведь наше ухо их все равно не услышало бы! Ну, а если даже мы услышим этот высокочастотный звук, то какой в этом толк? Ведь нам нужен не ультразвук, а низкочастотные звуковые колебания, с помощью которых осуществлялась модуляция.

Где же выход? А выход есть только один: нужно так преобразовать высокочастотный ток, действующий в приемной антенне, чтобы можно было выявить сигнал, с помощью которого модулировался высокочастотный ток на передатчике. Иными словами, нужно обнаружить в высокочастотном токе те изменения его амплитуды, которые появились в результате разговора (а может быть, и пения!) перед микрофоном.

Необходимое преобразование высокочастотного тока осуществляется с помощью специального устройства — детектора, который является обязательным элементом любого радиоприемника.

Слово «детектор» в переводе на русский язык означает «обнаружитель» и происходит от того же корня, что и слово «детектив» — «сыщик». В качестве детектора в настоящее время используются электронные лампы или полупроводниковые диоды.

Основное свойство любого детектора состоит в том, что он очень хорошо пропускает ток только в одну сторону и почти совсем не пропускает в другую, подобно тому как клапан велосипедной камеры легко пропускает воздух внутрь камеры и не выпускает его обратно. С работой лампового детектора мы познакомимся позднее, а сейчас посмотрим, как работает полупроводниковый диод.

Все полупроводниковые диоды делятся на две основные группы: точечные и плоскостные. В качестве детектора могут использоваться только точечные диоды (лист 56) — плоскостные для этой цели непригодны. Плоскостные полупроводниковые диоды применяются в выпрямителях для ламповых приемников, и с ними мы познакомимся в четвертой главе.

К сожалению, система наименований полупроводниковых приборов несколько раз менялась, и сейчас трудно указать способ, позволяющий по наименованию диода определить его тип. Поэтому мы перечислим основные типы точечных диодов, которые могут быть использованы в качестве детекторов: ДГ-Ц1, ДГ-Ц2, ДГ-Ц3 и т. д., вплоть до ДГ-Ц14, диоды более поздних выпусков Д1, Д2, Д9 независимо от того, какая буква стоит после цифры (например, Д1А или Д2Б), а также Д-101, Д-102, Д-103 и др. Стопки зрения использования в качестве детектора, все эти диоды мало отличаются один от другого. Вполне возможно и применение специальных точечных диодов — Д-401—Д-499 и Д-601—Д-699.

Основой любого пат у проводникового диода, как точечного, так и плоскостного, являются два примыкающих друг к другу участка полупроводникового материала (германия или кремния).

Один из этих участков называется зоной n, другой — зоной p. Область между этими зонами получила название «pn-переход» (рис. 34).

Рис. 34. Детектирование можно осуществить с помощью точечного полупроводникового диода. В этом приборе имеются две зоны полупроводникового материала — одна со свободными электронами (зона n), другая — со свободными положительными зарядами (зона p).

Во всяком полупроводнике, в отличие от изолятора, имеется значительное количество свободных электрических зарядов, благодаря которым в полупроводнике может существовать ток. В полупроводнике зоны n имеют свободные отрицательные заряды — электроны. Этим определилось и само название зоны — буква «n» является первой буквой слова «negativ» — отрицательный. Название зоны «p» происходит от слова «positive» — положительный, так как в этой зоне имеются свободные положительные заряды.

Раньше, когда мы говорили о свободных положительных зарядах в жидких и газообразных проводниках (лист 8), то имели в виду свободные, то есть слабо связанные друг с другом, положительные ионы (атомы с недостающим электроном), которые могут легко перемещаться под действием электрических сил. Сейчас не время подробно разбирать, что происходит в полупроводниках, так как это отвлечет нас от основной темы.

Поэтому мы заметим лишь, что в полупроводниковом материале зоны p все атомы, в том числе и положительные ионы, неподвижны. Однако положительные заряды в зоне p все-таки перемещаются. Для того чтобы как-нибудь обойти это несоответствие, мы будем рассматривать процесс крайне упрощенно (это нас пока устраивает) и считать, что в зоне p имеется некоторое количество свободных положительных зарядов, которые могут перемещаться в любом направлении.

Не нужно думать, что зона n и зона p — это два отдельных кусочка разных полупроводников, составленных вместе. Диод делают из одного кристалла, обычно из германия типа n, то есть из германия, в котором имеются свободные электроны. В один из участков этого кристаллика вводят примесь, под действием которой в германии появляются свободные положительные заряды, и таким образом появляется зона p. К участкам кристалла, соответствующим зонам n и p, припаивают или присоединяют другим способом два проволочных вывода, а сам кристалл заключают в герметический корпус.

В точечных диодах один из контактов с кристаллом осуществляется с помощью металлической иглы. Вблизи ее острия, упирающегося в кристалл, образуется очень небольшая микроскопическая зона p. В плоскостных диодах зона p имеет значительно большие размеры, и контакт с ней осуществляется с помощью плоской металлической пластинки (лист 121).

Итак, во всяком полупроводниковом диоде имеется два вывода, один из которых соединен с зоной n, а другой — с зоной p. С помощью этих выводов диод и включается в электрическую цепь.

Предположим, что мы подключили диод к обычной батарейке, причем подключили таким образом, что «минус» батарейки соединен с зоной p, а «плюс» — с зоной n. В этом случае электрические заряды как бы оттянутся от границы раздела зон, между зонами появится участок, обедненный свободными электрическими зарядами, то есть участок по своим свойствам очень близкий к изолятору (рис. 35).

Рис. 35. Полупроводниковый диод обладает односторонней проводимостью: он имеет небольшое сопротивление и пропускает ток только при определенной полярности приложенного напряжения — прямое включение: «плюс» подключается к зоне p, «минус» к зоне n; при обратной полярности диод обладает большим сопротивлением и тока не

пропускает.

Таким образом, при выбранной полярности подключения батареи рп-переход почти не пропускает электрический ток, и полупроводниковый диод можно рассматривать как очень большое сопротивление.

Если сменить полярность подключения батареи, то есть приложить напряжение «плюсом» к зоне р, а «минусом» — к зоне n, то электрические заряды, как положительные, так и отрицательные, подойдут вплотную к границе раздела и, перейдя эту границу, будут двигаться к соответствующим зажимам батареи. В этом случае рп-переход хорошо пропускает ток, и диод обладает малым сопротивлением.

Процессы, происходящие в рп-переходе, мы, конечно, рассмотрели крайне упрощенно, но это не помешало нам прийти к совершенно правильному выводу: полупроводниковый диод в одну сторону пропускает ток хорошо, а в другую практически не пропускает. За это свойство диод часто называют вентиляем.

В способности диода пропускать ток только в одну сторону можно легко убедиться самому, собрав простейшую цепь из диода, головных телефонов (телефоны обязательно должны быть высокоомные, то есть должны иметь сопротивление 1000 ом и более) и батарейки карманного фонаря. Если диод включен так, что он проводит ток, то в момент замыкания цепи в телефонах будут слышны сильные щелчки. Если же изменить полярность включения диода (или, что то же самое, изменить полярность включения батарейки), то диод будет обладать большим сопротивлением, то есть почти не будет пропускать ток, и щелчков в телефоне слышно не будет.

Именно односторонняя проводимость является тем свойством полупроводникового диода, которое позволяет произвести преобразование модулированного тока высокой частоты с последующим выделением необходимого нам низкочастотного (звукового) сигнала.

О том, как это делается, вы узнаете, ознакомившись с работой простейшего приемника. Постройка такого приемника не займет у вас много времени. ПЯТЬ МИНУТ — И ПРИЕМНИК ГОТОВ!

Соберем простейший детекторный приемник и посмотрим, как он работает. Схема приемника предельно проста (лист 61, рис. 36). Между антенной и заземлением включают детектор, а параллельно ему подключают телефоны, или, как их называют иначе, наушники. Можно подключить один наушник, а можно и два, соединенных последовательно. Существуют и другие схемы включения детектора (лист 63), но принцип его работы всегда одинаков.

Рис. 36. Диод периодически шунтирует телефон, и в его цепи появляются импульсы (толчки) тока одного направления. Если сигнал модулирован, то амплитуда импульсов меняется, мембрана «медленно» перемещается и создает звуковые волны.

Для детекторного приемника желательно сделать наружную антенну высотой 8—10 м (листы 59, 60). Заземление сделать обязательно. Приемник можно собрать на небольшой фанерной панели (лист 62), а гнезда для подключения телефонов, антенны и заземления сделать из белой жести.

Все соединения в электрических цепях следует осуществлять только путем пайки (лист 57), причем в процессе пайки ни в коем случае не следует применять кислоту. Соединяемые контакты, лепестки, провода и т. п. сначала тщательно зачищают, затем залуживают — покрывают тонким слоем олова и уже после этого припаивают. На всех стадиях пайки нужно пользоваться канифолью, которая очищает место спая от вредных окислов.

Пайку лучше всего вести небольшим электрическим паяльником «жало», который

необходимо тщательно залудить. Более подробно о монтаже, пайке, подготовке деталей, столярных и слесарных работах, с которыми приходится сталкиваться радиолюбителю, можно прочесть в «Справочнике начинающего радиолюбителя», изданном в 1961 году.

Теперь поговорим о том, как работает наш приемник (лист 61). Мы уже знаем, что детектор пропускает ток только в одном направлении. Поэтому переменный ток, наведенный в антенне (IA), будет проходить через детектор (ID) только в течение одной половины периода. Ток обратного направления детектор не пропустит, и поэтому в течение второго полупериода ток пройдет через цепь телефона (IT).

Диод можно рассматривать как своеобразный шунт, подключенный параллельно телефону. Особенность такого шунта состоит в том, что он действует «через такт»: в те полупериоды, когда диод пропускает ток, он сильно шунтирует телефон, и ток IT практически отсутствует. Однако в следующий полупериод диод уже обладает очень большим сопротивлением, и весь ток, наведенный в антенне, идет через телефон. Таким образом, в цепи детектора, так же как в цепи телефона, протекает пульсирующий (импульсный) ток — импульсы (толчки) тока в этих цепях чередуются. Импульсы тока в цепи телефона, также, впрочем, как и в цепи детектора, всегда имеют одно направление, причем величина импульсов меняется в соответствии с модуляцией. Когда модуляции нет (молчание перед микрофоном), все импульсы тока одинаковы.

Благодаря медленному изменению импульсного тока, изменению, которое является следствием модуляции, мембрана телефона будет медленно перемещаться и создавать звуковые волны. Так, например, если в процессе модуляции ток в антенне передатчика увеличивается, то будет увеличиваться и ток в антенне приемника, а это значит, что будут возрастать импульсы тока через телефон, и при этом каждый последующий импульс будет все дальше смещать мембрану. Если же ток в антенне передатчика уменьшается, то будут уменьшаться и импульсы тока через телефон, и его мембрана будет медленно возвращаться в среднее положение. Мембрана следует за всеми изменениями амплитуды тока и воспроизводит «копию» звука, с помощью которого на передатчике осуществляется модуляция.

Какова же в этом процессе роль детектора? Если бы не было детектора, то через телефон протекал бы не импульсный (пульсирующий) ток, а переменный ток высокой частоты. Этот ток с очень большой частотой толкал бы мембрану то в одну, то в другую сторону, и в результате она стояла бы на месте, так как не успевала бы следовать за изменением тока. Благодаря детектору через телефон проходит ток только одного направления, и мембрана смещается только в одну сторону, следуя за медленным изменением амплитуды этого тока. Нужно признаться, что слово «медленно» в данном случае выбрано не совсем удачно. Действительно, ведь сила импульсов меняется в соответствии с модуляцией, а модулирующий сигнал может совершать свой полный цикл (период) за несколько тысячных долей секунды, то есть иметь частоту в несколько тысяч герц. Такую частоту колебаний мембраны уже нельзя назвать медленной. Оправданием для нас может служить лишь то, что эта частота все же невелика по сравнению с частотой тока в антенне, которая составляет сотни и тысячи килогерц.

Подведем некоторый итог. На передающей стороне звуковые колебания были преобразованы с помощью микрофона в электрический ток низкой частоты (НЧ). Этим низкочастотным током мы модулировали полученный от специального генератора ток высокой частоты (ВЧ). Модулированный ток ВЧ был направлен в передающую антенну и создал модулированные радиоволны. Они навели в приемной антенне точно такой же модулированный ток, какой был в антенне передатчика. С помощью детектора мы преобразовали переменный ток в пульсирующий. Под действием этого пульсирующего тока мембрана телефона пришла в движение и создала такие же низкочастотные звуковые колебания, какие воздействовали на микрофон в передатчике. Таковы основные процессы, происходящие при радиотелефонной

передаче.

Построенный нами простейший приемник обладает серьезными недостатками. Прежде всего он мало чувствителен и позволяет принимать только местные и притом достаточно мощные станции. Может быть, у некоторых из вас, особенно у тех, кто живет далеко от мощных радиостанций, простейший приемник из-за его малой чувствительности вообще ничего, кроме грозовых разрядов, принимать не будет. Другой недостаток простейшего приемника состоит в том, что если слышны передачи нескольких станций, то нет никакой возможности отделить одну передачу от другой.

Таким образом, перед нами стоят две задачи. Во-первых, нужно повысить чувствительность приемника и сделать возможным прием станций, радиоволны которых приходят к антенне сильно ослабленными. Во-вторых, нужно сделать так, чтобы из всех слышимых радиостанций приемник мог выбирать только одну, нужную нам.

Задачи эти можно решать по-разному, но мы начнем с самых простых решений.

### Глава 3

#### КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Как уже отмечалось, у простейшего детекторного приемника, описанного в предыдущей главе, имеются серьезные недостатки. Во-первых, у него очень плохая чувствительность. Это значит, что простейший приемник принимает только сильные сигналы. Во-вторых, простейший приемник практически не обладает никакой избирательностью, то есть не позволяет выделить сигнал нужной нам станции среди других сигналов, действующих в приемной антенне. Это значит, что если к приемной антенне придет несколько достаточно сильных сигналов от разных радиостанций, то передачи всех этих станций будут слышны одновременно.

Первое, что можно сделать для борьбы с такими недостатками, это ввести в приемник колебательный контур — устройство, которое может повысить высокочастотное напряжение, подводимое к детектору. Но основное достоинство колебательного контура состоит не только в том, что он увеличивает слабые напряжения высокой частоты, а в том, что напряжение какой-то определенной частоты он повышает больше всех других. Тем самым колебательный контур как бы выбирает из множества высокочастотных сигналов один сигнал, принадлежащий определенной радиопередающей станции. Это замечательное свойство контура называется избирательностью. Оно связано с происходящими в нем электромагнитными колебаниями (отсюда название «колебательный контур»).

Прежде чем знакомиться с электромагнитными колебаниями в контуре, вспомним о хорошо известных нам механических колебаниях — колебаниях маятника, гитарной струны, качелей, стальной линейки, зажатой в тисках, и т. п. Хотя в основе электромагнитных и механических колебаний лежат совершенно различные физические явления, но законы, по которым протекают эти колебания, очень похожи. Вот почему знакомство с механическими колебаниями поможет нам при изучении колебаний электромагнитных. **КОЛЕБАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИЕ...**

Футболист сильно ударил по мячу, и он «свечой», то есть почти вертикально, пошел вверх (рис. 37).

Рис. 37. Мяч поднимается вверх, и его кинетическая энергия (энергия движущегося тела) переходит в потенциальную (энергия, запасенная телом, поднятым на высоту).

Поднявшись на довольно большую высоту, мяч на секунду «замер», а затем, постепенно набирая скорость, стал падать вниз (рис. 38).

Рис. 38. Когда мяч падает, его потенциальная энергия вновь переходит в кинетическую.

Тот, кто знаком с физикой, знает, что, пока мяч поднимался и опускался, произошло два превращения энергии. При движении мяча вверх его кинетическая энергия (энергия движущегося тела; поднимаясь, мяч замедляет движение, и его кинетическая энергия уменьшается) перешла в энергию потенциальную (энергия, запасенная телом, поднятым на высоту; чем выше поднимается мяч, тем больше его потенциальная энергия), а затем по мере падения мяча его потенциальная энергия перешла в кинетическую.

Интересные взаимные превращения кинетической и потенциальной энергии можно наблюдать и в качающемся маятнике.

Когда грузик маятника находится в одном из крайних положений, его потенциальная энергия максимальна. По мере того как грузик опускается, его потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая растет за счет увеличения скорости движения. Одним словом, при движении маятника к средней точке его потенциальная энергия переходит в кинетическую, и при прохождении средней точки потенциальная энергия маятника равна нулю, а кинетическая максимальна. Когда, проскочив по инерции среднюю точку, маятник двигается вверх, его кинетическая энергия постепенно переходит в потенциальную. Благодаря непрерывному переходу потенциальной энергии в кинетическую, а кинетической в потенциальную маятник совершает колебания — периодически отклоняется то в одну, то в другую сторону от своего среднего положения (рис. 39).

Рис. 39. В процессе колебаний маятника непрерывно происходит переход одного вида энергии в другой — потенциальная энергия (энергия поднятого маятника) периодически переходит в кинетическую (энергию движущегося маятника), кинетическая — обратно в потенциальную и т. д. При этом с определенной частотой меняется скорость движения маятника и его отклонение.

Аналогичными процессами сопровождаются и другие виды механических колебаний (лист 64).

Попробуем записать все, что происходит с маятником в процессе его колебаний. Такую запись удобнее всего произвести с помощью особого рисунка — графика (рис. 40). Мы уже встречались с графиками в предыдущей главе.

Рис. 40. График — это очень удобный и наглядный способ записи зависимости одной величины от другой и, в частности, зависимости какой-либо величины от времени.

Основой графика являются две взаимно-перпендикулярные прямые линии, называемые осями. По горизонтальной оси мы будем в определенном масштабе отмечать время, для чего разметим эту линию-ось в единицах времени, подобно циферблату секундомера (рис. 40). По вертикальной оси, также в определенном масштабе, будем отмечать отклонение маятника от его среднего положения, и эту ось разметим в единицах длины.

Теперь будем через определенные промежутки времени (например, через каждую секунду) измерять отклонение маятника и делать соответствующие отметки-точки. При отклонении маятника вправо будем делать отметки вверх от нулевой точки, а при отклонении влево — вниз от этой точки. Такой выбор сделан совершенно условно: можно было бы принять и обратное направление. По отметкам-точкам, которые мы будем наносить на графике, можно будет построить кривую (так обычно называют линию, соединяющую отдельные точки графика), которая и расскажет о том, как перемещается маятник с течением времени. Из графика, например, можно увидеть, что колебания маятника постепенно ослабевают («затухают») — амплитуда [6] отклонений становится все меньше и меньше (рис. 48), уменьшается и амплитудная (максимальная) скорость движения грузика. Колебания затухают потому, что энергия, запасенная при первом толчке, постепенно расходуется на преодоление

сопротивления воздуха на трение в подшипнике или изгиб нити. Чем меньше эти потери энергии, тем медленнее затухают колебания.

Время, в течение которого маятник совершает полный цикл колебаний, называется периодом и обычно, подобно периоду переменного тока, обозначается буквой  $T$ . Зная период, легко подсчитать частоту колебаний  $f$  и, наоборот, зная  $f$ , подсчитать  $T$ :

Так, например, если  $T = 8$  сек, то  $f = 0,125$  гц, если колебания имеют частоту 100 гц, то период равен 0,01 сек (лист 65). Частота колебаний маятника, так же как и частота любых колебаний, зависит от того, насколько быстро в процессе этих колебаний энергия переходит из одного вида в другой (в данном случае потенциальная энергия в кинетическую и обратно).

Лучше всего проследить указанную зависимость на примере колебаний гитарной струны. Эти колебания — результат перехода потенциальной энергии натянутой струны (когда струна натянута, то внутренние силы упругости стремятся вернуть ее в среднее положение) в кинетическую энергию движущейся струны и обратно.

Частота колебаний струны зависит от ее массы: чем толще струна, тем больше ее инерция, тем медленнее она накапливает и отдает кинетическую энергию, тем, следовательно, меньше частота колебаний. Частота колебаний зависит и от упругости струны, то есть практически от ее натяжения: чем сильнее натянута струна (чем больше ее упругость), тем быстрее она отдает и накапливает потенциальную энергию, тем выше частота колебаний.

...И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ

Электромагнитные колебания, так же как и любые другие колебания, — это результат периодического перехода энергии из одного вида в другой, а конкретно — результат перехода энергии электрического поля в энергию магнитного поля и наоборот.

Для накопления этих видов энергии могут использоваться специальные устройства: для накопления энергии электрического поля — конденсатор, а для накопления энергии магнитного поля — катушка индуктивности (иногда ее называют катушкой самоиндукции или просто катушкой). Электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки, и представляет собой контур, в котором могут происходить электромагнитные колебания.

Мы уже знаем, что вокруг проводника, по которому течет ток, возникает магнитное поле. Если же разместить рядом несколько таких проводников, то мы получим более сильное магнитное поле, так как магнитные поля отдельных проводников суммируются (рис. 41).

Рис. 41. В магнитном поле, окружающем проводник с током, запасается энергия. Разместив рядом несколько проводников, можно усилить магнитное поле, а значит, и запасы энергии.

Есть и другой путь для усиления магнитного поля — можно свернуть проводник в спираль, то есть намотать из него катушку. В этом случае суммируются магнитные поля отдельных витков. Чем больше витков в катушке и чем ближе они друг к другу расположены, тем сильнее результирующее магнитное поле. Наиболее сильное поле образуется внутри катушки (рис. 42).

Рис. 42. Чтобы усилить магнитное поле, проводник можно свить в спираль и изготовить катушку. Чем больше витков в катушке (чем больше индуктивность), тем больше энергии накапливается в ее магнитном поле при прохождении тока.

Способность катушки создавать магнитное поле характеризуется ее индуктивностью. Индуктивность обозначается буквой  $L$ , и этой же буквой обозначаются катушки на схемах радиоаппаратуры. Единицей индуктивности является генри (гн). Имеются более мелкие единицы: миллигенри (мгн) — одна тысячная доля генри и микрогенри (мкгн) — одна миллионная генри (лист 66). Генри — это очень большая величина — катушка с такой



индуктивностью содержит несколько десятков тысяч витков. В колебательных контурах наиболее часто встречаются катушки с индуктивностью от долей мкГн до нескольких мГн. Можно в десятки и сотни раз увеличить индуктивность  $L$  катушки, если вставить в нее стальной стержень, обычно называемый сердечником (рис. 43).

Рис. 43. Можно резко увеличить индуктивность катушки, вставив в нее стальной сердечник. Сердечник сам намагничивается и усиливает общее магнитное поле.

Увеличение индуктивности в этом случае объясняется тем, что под действием магнитного поля катушки сердечник намагничивается и создает свое собственное поле, которое усиливает поле самой катушки. Резко увеличивает индуктивность катушки не только сталь, но и ряд других материалов, получивших общее название ферромагнитных (от латинского слова «феррум» — железо). Чем больше ферромагнитный сердечник и чем сильнее он охватывается магнитным полем катушки, тем больше ее индуктивность. С катушками различных типов, применяемыми в приемниках, мы еще встретимся в дальнейшем.

На образование магнитного поля катушки затрачивается энергия движущихся зарядов (тока), то есть, в конечном итоге, энергия батареи. Если отключить батарею, то ток в катушке сразу не прекратится: исчезая, магнитное поле будет отдавать свои запасы энергии движущимся зарядам, поддерживая некоторое время ток в цепи. Чем больше индуктивность  $L$  катушки, тем больше энергии накопится в ее магнитном поле, тем, следовательно, дольше будет существовать ток в цепи после отключения батареи. При неизменной индуктивности магнитное поле катушки будет тем сильнее, а запасенная в нем энергия будет тем больше, чем сильнее ток, проходящий по этой катушке.

Следует отметить, что катушки часто помещают в металлический (чаще всего алюминиевый) экран — чехол прямоугольной или цилиндрической формы (лист 67). Делают это для того, чтобы на катушку не влияли внешние магнитные и электрические поля или, наоборот, для того, чтобы магнитное поле катушки не влияло на другие цепи. Экран несколько изменяет индуктивность катушки.

Теперь несколько слов о конденсаторе.

Простейший конденсатор (лист 68) представляет собой две металлические пластинки (обкладки), между которыми находится слой изолятора (воздух, бумага, слюда, керамика и т. п.).

Если подключить конденсатор к источнику тока, например к батарее, то он зарядится: на обкладках соберутся электрические заряды (рис. 44) и вокруг этих обкладок (и особенно между ними) появится электрическое поле.

Рис. 44. При подключении конденсатора к батарейке (заряд конденсатора) на его обкладках накапливаются заряды, а между обкладками появляется электрическое поле, то есть конденсатор запасает энергию.

При зарядке конденсатора на той обкладке, которая подключена к «минусу» батареи, появится избыток электронов (обкладка с отрицательным зарядом), а на другой обкладке во многих атомах будет наблюдаться нехватка электронов (обкладка с положительным зарядом). Заряды на обкладках, а следовательно, и электрическое поле конденсатора останутся и после того, как мы отключим батарею, так как через слой изолятора заряды не смогут перейти с одной обкладки на другую. Конденсатор отдаст запасенную им энергию лишь в том случае, если его разрядить — соединить обкладки проводником, по которому полученные от батареи «лишние» электроны смогут перейти на противоположную обкладку и занять имеющиеся там «свободные места» (рис. 45).

Рис. 45. При подключении к заряженному конденсатору нагрузки (разряд конденсатора) он

отдает запасенную энергию — избыточные заряды уходят с обкладок, а в цепи в этот момент появляется ток.

Необходимо отметить, что идеальных изоляторов не существует и всякий изолятор хоть плохо, но все же проводит электрический ток. Поэтому если даже не соединять проводником обкладки конденсатора, то он все равно постепенно разрядится, со временем заряды перейдут с одной обкладки на другую через изолятор и окружающий воздух. Конденсатор как накопитель электрической энергии используется в так называемых лампах-вспышках, применяемых в фотографии. Конденсатор сравнительно долго — несколько секунд — накапливает энергию от батареи, а затем очень быстро, в течение сотых долей секунды, выдает эту энергию специальной осветительной лампе. Но при заряде и при разряде конденсатора электрический ток выполняет одну и ту же работу, а за счет быстроты разряда лампа развивает большую мощность и дает яркую вспышку. Вспомните, что мощность это и есть работа, отнесенная к единице времени.

Принципиально можно было бы построить лампу-вспышку не с конденсатором, а с катушкой, которая накапливала бы энергию в магнитном поле. Однако такая установка будет очень громоздкой и неудобной.

Способность конденсатора накапливать заряды, а следовательно, и накапливать энергию в виде электрического поля характеризуется емкостью этого конденсатора. Емкость обозначается буквой  $C$  — этой же буквой на схемах обозначаются сами конденсаторы. Единицей емкости является фарада (ф). Имеются и более мелкие единицы: микрофарада (мкф) — миллионная доля фарады и пикофарада (пф) — миллионная доля микрофарады (лист 69). Пикофараду иногда называют микромикрофарадой (мкмкф). Фарада — это чрезвычайно большая величина, и конденсаторы такой емкости в практике никогда не встречаются. Обычно в радиоаппаратуре используются конденсаторы емкостью от нескольких пикофарад до нескольких десятков, реже — сотен микрофарад.

Емкость конденсаторов на схемах указывается сокращенно (лист 70). Если емкость конденсатора составляет доли пикофарады, то она выражается десятичной дробью с прибавлением букв «пф» (например, 0,5 пф). Целое число пикофарад, не более тысячи, выражается обычным числом без каких-либо добавлений (например, цифра 500 соответствует емкости 500 пф). Если емкость превышает 1000 пф, то она уже выражается в микрофарадах в виде десятичной дроби. Например, обозначение 0,002 соответствует емкости 0,002 мкф или, что то же самое, 2000 пф.

Десятичной дробью выражается и емкость конденсаторов более одной микрофарады. Так, например, обозначение 20,0 соответствует емкости 20 мкф.

Наряду с емкостью важной характеристикой конденсатора является его рабочее напряжение, то есть напряжение, которое можно без опасений прикладывать к его обкладкам. Если к конденсатору приложить напряжение больше, чем это разрешается, то может произойти пробой (разрушение) изолятора и как следствие этого короткое замыкание между обкладками.

Величина рабочего напряжения обычно указывается на корпусе конденсатора одновременно с его емкостью.

Емкость конденсатора зависит от площади его обкладок и расстояния между ними: чем больше эта площадь и чем ближе друг к другу расположены обкладки, тем больше  $C$ . У конденсаторов малой емкости обкладки обычно выполняют в виде прямоугольных пластин или дисков, а также в виде двух трубок, расположенных одна внутри другой. У конденсаторов большой емкости обкладки представляют собой длинные ленты из тончайшего металла (фольги), которые вместе с изолирующей прокладкой свернуты в трубку и размещены в

корпусе из керамики или металла.

Емкость конденсатора сильно зависит от примененного в нем изолятора. По сравнению с воздухом бумага дает увеличение емкости в три-четыре раза, слюда в пять — восемь раз, а некоторые сорта керамики — в несколько тысяч раз.

Материал диэлектрика и конструктивные особенности конденсатора сокращенно отражаются в его названии (листы 71, 72).

Так, например, если обкладки конденсатора представляют собой трубки, вставленные одна в другую, а между ними находится слой керамики, то такой конденсатор называется КТК — конденсатор трубчатый керамический. Аналогично КДК означает: конденсатор дисковый керамический, КСО — конденсатор слюдяной опрессованный (в пластмассу). Перечисленные конденсаторы обычно имеют емкость от нескольких пикофарад до нескольких тысяч пикофарад.

Различные типы бумажных конденсаторов: КБ (бумажные), КБГ (бумажные герметизированные), КБГМ (бумажные герметизированные малогабаритные) — могут иметь емкость от тысячи пикофарад (0,001 мкф) до нескольких микрофарад. Особую группу составляют электролитические конденсаторы (КЭ), о которых будет рассказано в четвертой главе.

Зарядим конденсатор от батареи и подключим его к катушке. В созданном нами контуре сразу же начнутся электромагнитные колебания (рис. 46).

Рис. 46. В процессе электромагнитных колебаний в контуре происходит непрерывный переход потенциальной энергии электрического поля конденсатора в кинетическую энергию магнитного поля катушки и обратно. При этом с определенной частотой меняется напряжение на элементах контура и ток в нем.

Разрядный ток конденсатора, проходя по катушке, создает вокруг нее магнитное поле. Это значит, что во время разряда конденсатора энергия его электрического поля переходит в энергию магнитного поля катушки, подобно тому как при колебаниях маятника или струны потенциальная энергия переходит в кинетическую.

По мере того как конденсатор разряжается, напряжение на его обкладках падает, а ток в контуре растет, и к тому моменту, когда конденсатор полностью разрядится, ток будет максимальным (амплитуда тока). Но и после окончания разряда конденсатора ток не прекратится — убывающее магнитное поле катушки будет поддерживать движение зарядов, и они вновь начнут накапливаться на обкладках конденсатора. При этом ток в контуре уменьшается, а напряжение на конденсаторе растет. Этот процесс обратного перехода энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора несколько напоминает то, что происходит, когда маятник, проскочив среднюю точку, поднимается вверх.

К моменту, когда ток в контуре прекратится и магнитное поле катушки исчезнет, конденсатор окажется заряженным до максимального (амплитудного) напряжения обратной полярности. Последнее означает, что на той обкладке, где раньше были положительные заряды, теперь будут отрицательные, и наоборот. Поэтому, когда вновь начнется разряд конденсатора (а это произойдет немедленно после того, как он полностью зарядится), то в цепи пойдет ток обратного направления.

Периодически повторяющийся обмен энергией между конденсатором и катушкой и представляет собой электромагнитные колебания в контуре. В процессе этих колебаний в контуре протекает переменный ток (то есть изменяется не только величина, но и направление тока), а на конденсаторе действует переменное напряжение (то есть изменяется не только

величина напряжения, но и полярность зарядов, накапливающихся на обкладках). Одно из направлений напряжения тока условно называют положительным, а противоположное направление — отрицательным.

Наблюдая за изменениями напряжения или тока, можно построить график электромагнитных колебаний в контуре (рис. 46), подобно тому как мы строили график механических колебаний маятника (рис. 39). На графике значения положительного тока или напряжения откладывают выше горизонтальной оси, а отрицательного — ниже этой оси. Ту половину периода, когда ток протекает в положительном направлении, часто называют положительным полупериодом тока, а другую половину — отрицательным полупериодом тока. Можно говорить также и о положительном и отрицательном полупериоде напряжения.

Хочется еще раз подчеркнуть, что слова «положительный» и «отрицательный» мы используем совершенно условно, лишь для того чтобы отличить два противоположных направления тока.

Электромагнитные колебания, с которыми мы познакомились, называют свободными или собственными колебаниями. Они возникают всякий раз, когда мы передаем контуру некоторый запас энергии, а затем даем возможность конденсатору и катушке свободно обмениваться этой энергией. Частота свободных колебаний (то есть частота переменного напряжения и тока в контуре) зависит от того, насколько быстро конденсатор и катушка могут накапливать и отдавать энергию. Это, в свою очередь, зависит от индуктивности  $L_k$  и емкости  $C_k$  контура, подобно тому, как частота колебаний струны зависит от ее массы и упругости. Чем больше индуктивность  $L$  катушки, тем больше времени нужно, чтобы создать в ней магнитное поле, и тем дольше это магнитное поле сможет поддерживать ток в цепи. Чем больше емкость  $C$  конденсатора, тем дольше он будет разряжаться и тем больше времени понадобится, чтобы этот конденсатор перезарядить. Таким образом, чем больше  $L_k$  и  $C_k$  контура, тем медленнее происходят в нем электромагнитные колебания, тем ниже их частота. Зависимость частоты  $f_0$  свободных колебаний от  $L_k$  до  $C_k$  контура выражается простой формулой, которая является одной из основных формул радиотехники:

Смысл этой формулы предельно прост: для того чтобы увеличить частоту собственных колебаний  $f_0$ , нужно уменьшить индуктивность  $L_k$  или емкость  $C_k$  контура; чтобы уменьшить  $f_0$ , индуктивность и емкость нужно увеличить (рис. 47).

Рис. 47. Частота собственных электромагнитных колебаний в контуре зависит от индуктивности его катушки и емкости конденсатора. При уменьшении индуктивности или емкости частота растет.

Из формулы для частоты можно легко вывести (мы это уже делали с формулой закона Ома) расчетные формулы для определения одного из параметров контура  $L_k$  или  $C_k$  при заданной частоте и известном втором параметре. Удобные для практических расчетов формулы приведены на листах 73, 74 и 75. **БОРЬБА ЗА ДОБРОТНОСТЬ**

С течением времени амплитуды напряжения и тока в контуре уменьшаются — электромагнитные колебания затухают, подобно тому как затухают колебания маятника или струны (рис. 48, 49).

Рис. 48. Колебания маятника затухают потому, что запасенная при толчке энергия постепенно расходуется.

Рис. 49. Чтобы продлить свободные колебания маятника, то есть ослабить их затухание, необходимо уменьшить потери энергии (например, потери из-за трения).

Затухание электромагнитных колебаний в контуре связано с тем, что всякий раз при «перекачивании» энергии из конденсатора в катушку и обратно часть этой энергии

безвозвратно теряется. Основные потери энергии в контуре — это потери в проводе катушки, в соединительных проводах, в изоляции проводов, потери в диэлектрике конденсатора и каркасе катушки, а также на излучение электромагнитных волн. Таким образом, если мы хотим нарисовать реальную схему контура, то, помимо контурной катушки  $L_k$  и конденсатора  $C_k$ , мы должны включить в нее и сопротивления, которые будут характеризовать потери энергии (лист 76). В действительности никаких сопротивлений (имеется в виду отдельная деталь) в контуре, конечно, нет. Но потери энергии в катушке, конденсаторе и т. д. существуют реально. Для того чтобы не забывать об этом, мы и рисуем на схеме не только катушку  $L_k$  и конденсатор  $C_k$ , но и условные сопротивления, которые отображают фактически существующие потери энергии.

Основные виды потерь — потери в катушке, потери на излучение и другие — условно характеризуются сопротивлением  $R_k$ , включенным последовательно, с  $L_k$  и  $C_k$  (лист 76, упрощенные схемы). Во время колебаний по сопротивлению  $R_k$  проходит весь контурный ток и, чем больше  $R_k$ , тем больше энергии на нем теряется.

Для учета некоторых видов потерь (потери в конденсаторе, в каркасе и др.) иногда приходится считать, что в контуре имеется еще одно сопротивление  $R_{ш}$ , шунтирующее (лист 32), конденсатор  $C_k$  или катушку  $L_k$ . Во время разряда конденсатора ток разветвляется: часть его проходит через катушку и создает там запасы энергии в виде магнитного поля. Другая часть разрядного тока проходит через сопротивление  $R_{ш}$  и создаст там безвозвратные потери энергии. Чем меньше  $R_{ш}$ , тем больший ток через него проходит, тем больше энергии теряется на этом сопротивлении.

Таким образом, для того чтобы уменьшить потери в контуре, нужно стремиться к тому, чтобы сопротивление  $R_k$  было как можно меньше, а сопротивление  $R_{ш}$  как можно больше (рис. 50, 51).

Рис. 50. Электромагнитные колебания в контуре, как и механические колебания маятника, затухают из-за потерь энергии. Потери в контуре учитывают с помощью двух условных сопротивлений — последовательного и шунтирующего (параллельного).

Рис. 51. Чем меньше потери энергии, тем выше добротность контура, тем медленнее затухают в нем колебания. Для повышения добротности последовательное сопротивление нужно уменьшать, а параллельное увеличивать.

Сопротивления  $R_k$  и  $R_{ш}$  на схемах радиоаппаратуры не изображаются, так как они не представляют собой самостоятельных деталей. Однако эти сопротивления реально существуют и, потребляя энергию, приводят к затуханию колебаний.

Для характеристики затухания колебаний существует специальная величина, называемая добротностью (лист 77).

Добротность обозначается буквой « $Q$ » и представляет собой относительное число, показывающее, во сколько раз энергия, запасаемая в конденсаторе или катушке за четверть периода, больше, чем энергия, теряемая на сопротивлениях  $R_k$  и  $R_{ш}$  за то же время. Совершенно очевидно, что, чем выше добротность  $Q$ , тем медленнее будут затухать колебания в контуре (лист 78).

Добротность реальных колебательных контуров обычно лежит в пределах от 30 (в контуре каждый раз теряется одна тридцатая часть, то есть около 3 % перекачиваемой энергии) до 300 (потери около 0,3 % от запасенной энергии). Добротность специальных колебательных систем (кварцевые пластины, объемные резонаторы) достигает нескольких десятков и даже сотен тысяч.

Ухудшить добротность контура (иногда возникает и такая необходимость) можно очень

просто: достаточно увеличить потери в контуре, увеличив  $R_k$  или уменьшив  $R_{ш}$ . Для этого можно, например, включить в контур обычные сопротивления.

Что же касается повышения  $Q$  (как правило, нам нужны контуры с высокой добротностью), то это довольно сложная задача, которая в основном решается путем уменьшения потерь в контурной катушке.

Индуктивность контурных катушек, применяемых на коротких и ультракоротких волнах (лист 81), очень мала и составляет единицы и даже десятые доли микрогенри (лист 66). Катушки такой маленькой индуктивности содержат лишь несколько витков сравнительно толстого (диаметр 0,6–1,2 мм) медного провода, как правило, без всякой изоляции или покрытого тонким слоем эмали (провод ПЭ, лист 79). Диаметр провода в миллиметрах указан в его названии цифрой, которая следует сразу же после букв, определяющих марку провода.

Для уменьшения потерь в таких катушках иногда применяют провод, покрытый тонким, толщиной в несколько микрон, слоем серебра. Дело в том, что при прохождении переменного тока по проводнику наблюдается интересное явление, получившее название поверхностного эффекта (лист 80) или скин-эффекта («скин» в переводе на русский язык значит «кожа»). Сущность этого явления состоит в том, что переменный ток не распределяется равномерно по всему проводнику, а проходит лишь по наружному его слою. Чем выше частота, тем сильнее проявляется поверхностный эффект, тем тоньше наружный слой проводника, по которому проходит ток. Поэтому для уменьшения потерь в высокочастотных катушках их не нужно целиком делать из серебряного провода (серебро, как известно, лучше всех других металлов пропускает ток, то есть обладает наименьшим удельным сопротивлением — лист 16), а достаточно применить посеребренный провод.

Катушки КВ и УКВ контуров выполняют на керамических или полистироловых каркасах, причем шаг намотки часто в полтора-два раза превышает диаметр провода, то есть между соседними витками имеются значительные просветы. Это, между прочим, и хорошо и плохо. Хорошо потому, что, сближая либо раздвигая соседние витки, можно подгонять индуктивность катушки, а плохо потому, что при недостаточно тугей намотке или недостаточно жестком каркасе витки сместятся и индуктивность катушки изменится.

Индуктивность катушек, применяемых в колебательных контурах на длинных и средних волнах (лист 82), составляет сотни и тысячи микрогенри. Такие катушки обычно содержат несколько десятков и даже сотен витков и выполняются из тонкого (диаметром 0,1–0,2 мм) медного провода. Чаще всего используют провод марки ПЭ — провод эмалированный или ПЭШО — провод эмалированный в шелковой оплетке. Намотку производят на каркасах из картона, эбонита, полистирола и других изоляционных материалов, причем всю обмотку часто делят на несколько секций что позволяет несколько снизить потери. В ряде фабричных приемников, особенно старых выпусков, широко применялась намотка «Универсаль», выполняемая на специальных станках. Намотка «Универсаль» характеризуется тем, что провод укладывается ровными рядами, несколько «перекрещенными», то есть повернутыми один относительно другого. В настоящее время намотка «Универсаль» применяется редко — вместо нее производят намотку «внавал», укладывая провод между двумя щечками.

Раньше для намотки ДВ и СВ катушек широко применялся провод литцентрат (ЛЭШО — литцентрат эмалированный в шелковой оплетке), состоящий из нескольких тонких (диаметром 0,05—0,07 мм), изолированных друг от друга медных проводов. Общая поверхность всех этих проводов получается довольно большой, и поэтому на высоких частотах сопротивление литцентрата оказывается несколько меньше, чем у обычного провода такого же диаметра. Следует отметить, что в случае применения литцентрата необходимо тщательно зачищать и пропаявать все его проводники. Одна непропаянная жилка может во много раз ухудшить добротность катушки.

Несмотря на то что литцентрат позволяет заметно уменьшить потери в катушке, в настоящее время он почти не применяется. Уменьшение потерь в катушке получают более эффективным и в то же время более простым и дешевым способом — путем применения ферромагнитных сердечников (лист 83).

Как уже говорилось, ферромагнитный сердечник резко увеличивает индуктивность катушки. Поэтому, если изготовить две катушки с одинаковой индуктивностью — одну из них с сердечником, а другую без него, то у катушки с сердечником будет намного меньше витков, и поэтому сопротивление ее тоже будет меньше (сопротивление проводника зависит от его длины: чем длиннее проводник, тем больше его сопротивление).

Для катушек, по которым течет переменный ток, нельзя использовать сердечник из целого куска стали, так как изменяющееся магнитное поле катушки наведет в таком сердечнике вихревой ток, потеряв на это большую часть энергии. Таким образом, сердечник, с помощью которого мы хотели уменьшить потери в катушке, сам становится источником потерь, которые возрастают с увеличением частоты переменного тока в контуре.

Для борьбы с этим видом потерь сердечники низкочастотных катушек (то есть катушек, по которым проходит ток низкой частоты) собирают из отдельных, изолированных друг от друга пластин. Ток, наведенный в каждой такой пластине, создает свое магнитное поле, которое... ослабляет токи в соседних пластинах. В результате токи в пластинах сердечника оказываются очень слабыми, и он «отбирает» у катушки мало энергии. Чем тоньше пластины, из которых собран сердечник, тем меньше потери в нем.

В высокочастотных катушках собирать сердечник из тонких пластин уже оказывается недостаточным. Сердечники для этих катушек прессуют из ферромагнитного порошка, смешанного со специальными связующими веществами (бакелитовый лак, полистирол и др.). Связующее вещество обволакивает отдельные крупинки ферромагнитного порошка и изолирует их друг от друга. Спрессованные подобным образом ферромагнитные порошки плохо проводят электрический ток, и поэтому они получили название магнитодиэлектриков. Для изготовления сердечников высокочастотных катушек чаще всего используются следующие магнитодиэлектрики: магнетит, альсифер, карбонильное железо и ферриты. Наиболее широко в последнее время используются ферриты, большинство которых увеличивает индуктивность катушки намного сильнее, чем другие магнитодиэлектрики. Обычно сердечник выполняют в виде стержня с резьбой, который ввинчивается в каркас катушки. Выпускаются также сердечники типа СБ (сердечник броневой), имеющие форму закрытой чашки (горшка), внутрь которой вставляется сама катушка. В горшкообразном сердечнике также имеется подвижной стерженек, снабженный резьбой. Применение ввинчивающихся сердечников имеет одно большое достоинство: перемещая такой сердечник внутри катушки, можно в значительных пределах менять ее индуктивность, а это часто бывает очень важно.

Применение сердечников из магнитодиэлектриков позволяет в несколько раз уменьшить сопротивление потерь и, следовательно, повысить добротность  $Q$  контура. Другие пути уменьшения потерь — это применение в качестве  $S_k$  керамических, слюдяных и воздушных конденсаторов, обладающих малыми потерями; монтаж высокочастотных цепей короткими проводами; использование для каркаса катушки материала с малыми потерями, а также ряд других мер. В любительских условиях не всегда имеется возможность да и не всегда есть смысл принимать все возможные меры для уменьшения потерь, и поэтому часто приходится мириться с несколько пониженной добротностью контуров.

Добротность  $Q$  контура зависит не только от потерь в нем, но и от соотношения между индуктивностью  $L_k$  и емкостью  $S_k$ ; чем больше  $L_k$  и чем меньше  $S_k$ , тем выше добротность. С другой стороны, из формулы для определения  $f_0$  (рис. 47, лист 73) видно, что одну и ту же частоту собственных колебаний можно получить при различных соотношениях  $L_k$  и  $S_k$ . Иными

словами, если емкость  $C_k$  уменьшить, например, в 10 раз и во столько же раз увеличить индуктивность  $L_k$ , то произведение  $L_k C_k$  останется неизменным, а значит, не изменится и частота  $f_0$ .

Из всего этого можно сделать простой вывод: если хочешь повысить добротность контура, уменьшай его емкость и увеличивай индуктивность (в одно и то же число раз, иначе изменится частота!).

Если посмотреть на схему самых различных приемников и передатчиков, то можно увидеть, что в контурах почти всегда используются конденсаторы, емкость которых не превышает нескольких сотен пикофарад. А ведь если бы соотношение между  $L_k$  и  $C_k$  не влияло на величину добротности, то мы, пожалуй, еще подумали, каким путем легче построить контур — применяя громоздкую катушку большой индуктивности и конденсатор малой емкости или же используя конденсатор емкостью в несколько микрофарад и простейшую катушку, содержащую всего два-три витка.

В заключение необходимо отметить, что в погоне за высокой добротностью нельзя беспредельно увеличивать индуктивность и уменьшать емкость контура. Здесь существует ряд ограничений, разбирать которые мы не имеем возможности, так как это отвлечет нас от основной задачи.

Итак, мы выяснили, что в контуре, состоящем из конденсатора и катушки, могут возникнуть собственные электромагнитные колебания и что постепенно эти колебания затухают. Чем меньше потери энергии в контуре, то есть чем выше его добротность, тем медленнее затухают в нем собственные колебания.

Но как можно использовать контур в приемнике и какое значение при этом будет иметь добротность?.. К выяснению этих вопросов мы сейчас и приступаем. РЕЗОНАНС

Давайте раскачивать маятник в такт с его собственными колебаниями. Качнулся маятник вправо — и мы слегка подтолкнем его вправо; двигается маятник в противоположную сторону — и мы опять поможем ему, подтолкнув влево. Если мы будем подталкивать маятник с той же частотой, с какой он сам колеблется, то колебания не только перестанут затухать, но станут намного сильнее. Произойдет это потому, что подталкивание маятника компенсирует потери энергии, из-за которых раньше колебания затухали. Более того, наши подталкивания помогут маятнику преодолеть сопротивление воздуха и трение в подшипнике и увеличить амплитуду отклонений. Чем меньше общие потери энергии, тем больше будет амплитуда отклонений при толчках одной и той же силы.

Подобную картину можно наблюдать и в колебательном контуре, если с помощью специального генератора пропустить через этот контур переменный ток (рис. 52), частота которого равна частоте собственных (свободных) электромагнитных колебаний. В этом случае, который получил название «резонанс», в контуре происходит ряд интересных явлений, широко используемых в радиотехнике.

Рис. 52. Колебательный контур, в отличие от обычного сопротивления, по-разному пропускает токи различных частот. Наибольший ток в контуре и наибольшее напряжение на нем будет при резонансе, то есть тогда, когда частота подводимого переменного тока (например, от специального генератора) окажется равной частоте собственных колебаний контура.

Ток, поступающий от генератора, действуя в такт с переменным током собственных колебаний, как бы «подталкивает» движущиеся заряды, помогая им преодолеть сопротивление потерь. Более того, благодаря «помощи» генератора амплитуда тока в контуре при резонансе сильно увеличивается. Правда, с увеличением тока возрастут и потери энергии: ведь контурный ток проходит по сопротивлению  $R_k$  и, чем больше ток, тем



больше энергии будет теряться на этом сопротивлении. Поэтому при резонансе автоматически установится такой контурный ток, при котором энергия, поступающая от генератора, сможет компенсировать потери в контуре. Совершенно очевидно, что, чем меньше эти потери, то есть чем выше добротность  $Q$  контура, тем сильнее будет контурный ток при одной и той же энергии, поступающей от генератора.

Если увеличить ток, поступающий от генератора в контур, то возрастет и контурный ток. Если же с генератора будет поступать модулированный ток, то электромагнитные колебания в контуре также окажутся промодулированными.

При резонансе электромагнитная энергия, которой «обмениваются» конденсатор и катушка, в  $Q$  раз больше энергии, получаемой от генератора; подобно тому как потенциальная и кинетическая энергия, запасаемая при колебаниях маятника, может быть во много раз больше энергии наших подталкиваний, помогающих маятнику преодолеть трение. Разными способами подключая контур к генератору, можно добиться того, что при резонансе ток в контуре будет во много раз, а точнее, в  $Q$  раз больше, чем ток, поступающий от генератора. Этот случай получил название «резонанс токов». При другом способе соединения генератора и контура можно получить так называемый «резонанс напряжений», при котором напряжение на конденсаторе и на катушке будет в  $Q$  раз больше, чем напряжение генератора (листы 151, 152). Это свойство колебательного контура можно использовать в приемнике для того, чтобы повысить напряжение, которое подводится к детектору, и тем самым повысить громкость передачи.

В простых приемниках роль генератора, «подталкивающего» собственные колебания в контуре (этот контур часто называют «входным»), выполняет подключенная к нему антенна (листы 85, 86), в которой электромагнитные ваты наводят высокочастотный ток. Поскольку в антенне действует модулированный ток, то и напряжение, возникающее на контуре, также окажется модулированным. Это напряжение можно подвести непосредственно к детектору (точнее, к цепи детектор — телефон) и детектировать его так же, как мы это делали в простейшем приемнике.

При этом можно сразу же отметить, что приемник с контуром будет работать заметно громче простейшего приемника (рис. 53, 54).

Рис. 53. Простейший приемник не обладает избирательностью — он одинаково хорошо (точнее, одинаково плохо!) детектирует и воспроизводит все наведенные в его антенне сигналы, если, конечно, они достаточно сильны.

Рис. 54. Приемник с колебательным контуром обладает избирательностью — благодаря резонансу контур выделяет сигналы той станции, частота которой равна частоте собственных колебаний этого контура.

Это объясняется тем, что напряжение, возникающее на контуре, за счет резонанса, значительно больше, чем напряжение, которое подводилось к цепи детектор — телефон в бесконтурном приемнике. Чем больше напряжение, действующее на телефоне, тем больше и импульсы тока в его катушке (закон Ома!), тем сильнее колеблется мембрана, тем громче звук. Развивая эту мысль, можно заметить, что громкость возрастает и при увеличении добротности контура (рис. 55).

Рис. 55. Чем выше добротность контура, тем сильнее проявляются его резонансные свойства, тем лучше избирательность приемника. Кроме того, с увеличением добротности возрастает напряжение на контуре при резонансе, а значит, и громкость приема.

Хочется еще раз подчеркнуть, что резонанс в контуре наступает лишь в том случае, когда частота генератора, к которому этот контур подключен, равна частоте возникающих в контуре собственных колебаний. Так, например, если частота генератора равна 200 кгц, а частота

собственных колебаний контура 150 кГц, то никакого резонанса, конечно, не будет. Для того чтобы добиться резонанса, необходимо либо уменьшить частоту генератора до 150 кГц, либо увеличить частоту собственных колебаний контура до 200 кГц. Последнее можно сравнительно просто сделать, уменьшив индуктивность  $L_k$  или емкость  $S_k$  контура. Ведь мы уже отмечали, что чем меньше  $L_k$  и  $S_k$ , тем больше частота собственных колебаний  $f$  контура (лист 73, рис. 47).

На листах 85 и 86 приведены четыре схемы детекторных приемников с колебательным контуром. Во всех этих приемниках детектор  $D_1$ , включенный последовательно с телефонами, подсоединен к контуру  $L_k S_k$ . Модулированное напряжение, действующее на этом контуре, создает в цепи детектор — телефон пульсирующий ток, который и заставляет мембрану телефона колебаться со звуковой частотой. На всех схемах  $S_f$  — это конденсатор фильтра, улучшающий работу детектора. Более подробно с ролью этого конденсатора мы познакомимся позднее. В приемнике, собранном по первой схеме (лист 85), сигнал из антенны передается прямо в контур (непосредственная связь контура с антенной).

При этом собственная емкость антенны  $S_A$  [7] оказывается включенной параллельно конденсатору  $S_k$ , и общая емкость контура равна сумме  $S_A + S_k$  (листы 88, 90 — общая емкость двух параллельно соединенных конденсаторов равна сумме их емкостей; соединить два конденсатора параллельно — это равносильно тому, что взять один конденсатор с большей площадью пластин). Недостатком непосредственной связи является сильное влияние антенны на настройку контура. При замене антенны может измениться  $S_A$  и, следовательно, общая емкость контура. Это, в свою очередь, приведет к изменению частоты собственных колебаний  $f_0$ , нарушит условия резонанса и уменьшит громкость передачи.

Все сказанное легко пояснить простым примером. Предположим, что в контур включен конденсатор  $S_k$  емкостью 50 пф и к приемнику подключена сравнительно небольшая антенна с собственной емкостью 50 пф. В этом случае общая емкость контура равна  $S_k \text{ общ} = 50 + 50 = 100$  пф и контур настроен на нужную нам станцию. Если теперь подключить большую антенну с собственной емкостью  $S_A = 150$  пф, то общая емкость контура окажется равной  $50 + 150 = 200$  пф, то есть увеличится в два раза по сравнению с первым случаем. При этом собственная частота резко уменьшится (чем больше  $S_k$ , тем меньше  $f_0$ ) и нужного нам резонанса уже не будет.

Можно уменьшить влияние антенны, подключив ее к контуру через конденсатор связи  $S_{св}$ , обычно имеющий емкость 15–20 пф (емкостная связь контура с антенной). В этом случае параллельно контурному конденсатору  $S_k$  окажется включенной цепочка, состоящая из двух последовательно соединенных конденсаторов  $S_A$  (собственная емкость антенны) и  $S_{св}$  (конденсатор связи). При последовательном соединении двух конденсаторов с сильно различающейся емкостью (лист 89) общая емкость примерно равна наименьшей из емкостей (несколько меньше ее) [8]. Емкость антенны почти всегда больше, чем  $S_{св}$ , и поэтому если подключать к контуру различные антенны с различной собственной емкостью, то общая емкость цепочки  $S_{св}$  и  $S_A$  все равно будет примерно равна 15–20 пф и условия резонанса не нарушатся.

Чем меньше емкость конденсатора связи  $S_{св}$ , тем меньше будет влиять антенна на настройку контура. Однако делать емкость этого конденсатора слишком малой нельзя, так как, чем меньше  $S_{св}$ , тем меньше напряжение сигнала, действующее на контуре. Для того чтобы пояснить это, рассмотрим, как ведет себя конденсатор в цепи переменного тока. Вопрос этот для нас очень важен, так как с конденсаторами, включенными в цепи переменного тока, мы будем встречаться на каждом шагу.

Если говорить строго, то через конденсатор не проходит ни постоянный, ни переменный ток, так как между обкладками находится изолятор, в котором свободные электрические заряды двигаться не могут.

Включение конденсатора в цепь постоянного тока равносильно разрыву этой цепи. Что же касается переменного тока, то он будет протекать по цепи, в которую включен конденсатор, благодаря периодическому заряду и разряду этого конденсатора. Действительно, когда происходит заряд конденсатора, то электрические заряды, например электроны, на одной обкладке накапливаются, а с другой обкладки уходят. При этом они, конечно, двигаются по соединительным проводам, подключенным к обкладкам конденсатора. Такое же движение зарядов, только в противоположном направлении, происходит и при разряде конденсатора. Если включить конденсатор в цепь переменного тока, то он будет периодически заряжаться то в одной полярности, то в противоположной. Это значит, что электроны будут накапливаться то на одной, то на другой обкладке, и каждый раз при заряде и разряде свободные электроны будут двигаться по цепи, в которую включен конденсатор, не попадая, однако, в изолятор, включенный между обкладками.

А поскольку под действием переменного напряжения в цепи конденсатора двигаются заряды, то мы считаем, что конденсатор пропускает переменный ток, хотя и в этом случае заряды не проходят через изолятор.

Конденсатор влияет на величину переменного тока в цепи, и поэтому (по аналогии с законом Ома) его часто рассматривают как сопротивление. Это так называемое емкостное сопротивление обозначается буквой  $X_c$  и так же, как и обычное сопротивление, измеряется в омах. Величина  $X_c$  зависит от частоты переменного тока и от емкости  $C$  конденсатора: с уменьшением емкости конденсатора, так же как и с уменьшением частоты переменного тока, емкостное сопротивление конденсатора увеличивается (рис. 80, 81; лист 87). Эту зависимость удобно записать в виде простой формулы:

Смысл этой формулы весьма прост: чем меньше емкость  $C$ , тем меньше зарядов будет двигаться к обкладкам при каждом заряде и разряде конденсатора; чем меньше частота переменного тока, тем реже будет заряжаться и разряжаться конденсатор. Отсюда следует, что с уменьшением  $f$  и  $C$  уменьшается ток в цепи, или, иными словами, растет сопротивление конденсатора.

Этот вывод имеет огромное практическое значение. Так, например, если нам понадобится включить в цепь конденсатор с очень маленьким емкостным сопротивлением, то емкость этого конденсатора нужно будет выбирать с учетом частоты переменного тока в цепи. Для высоких частот можно будет взять конденсатор небольшой емкости, а вот для низких частот емкость конденсатора придется взять большой. Это хорошо иллюстрируется простым примером. На частоте 100 кГц конденсатор емкостью 100 пф обладает емкостным сопротивлением  $x_c = 16$  ком.

При уменьшении частоты в 1000 раз, то есть на частоте 100 гц, сопротивление конденсатора возрастет в 1000 раз и станет равным 16 000 ком (16 Мом). Для того чтобы при уменьшении частоты емкостное сопротивление не изменилось, нужно увеличить емкость конденсатора. Сопротивление 16 ком на частоте 100 гц будет иметь конденсатор емкостью 100 000 пф (0,1 мкф).

Из приведенной выше формулы следует также, что уменьшение емкости конденсатора связи  $C_{св}$  (лист 85) приведет к росту сопротивления этого конденсатора, а следовательно, к уменьшению тока в цепи антенны. Поэтому емкость  $C_{св}$  нельзя брать слишком малой.

Сказанное можно пояснить еще иначе. Конденсатор связи и колебательный контур  $L_k C_k$  можно рассматривать как делитель напряжения, к которому приложена э. д. с., действующая между зажимами А («антенна») и З («земля»). Мы не будем пока говорить о том, чему равно сопротивление колебательного контура — даже без этого ясно: чем больше емкостное сопротивление конденсатора связи, тем меньшая часть э. д. с. будет действовать на нижней части делителя — на контуре и подключенной к нему цепи детектор — телефон.

Третья схема (лист 86) называется схемой индуктивной связи контура с антенной или схемой с трансформаторным входом. Во многих электротехнических и радиотехнических устройствах бывает нужно передать энергию из одной цепи в другую, причем соединять эти цепи между собой нежелательно или просто нельзя. В этом случае можно воспользоваться устройством, которое получило название «трансформатор».

Трансформатор состоит из двух (а иногда и более) катушек, расположенных рядом. Если к одной из катушек подвести переменный ток, то под действием изменяющегося магнитного поля во второй катушке возникнет переменная э. д. с. и таким образом будет осуществлена передача энергии между двумя фактически не соединенными цепями. Если пропустить ток по второй катушке, то э. д. с. возникнет в первой. Важно заметить, что передача энергии (то есть появление наведенной э. д. с.) будет происходить только при переменном токе. Постоянный ток создает такое же постоянное магнитное поле, а э. д.с. на катушках трансформатора появляется лишь тогда, когда окружающее их магнитное поле меняется.

На высоких частотах связь между катушками получается достаточно сильной уже тогда, когда эти катушки расположены на расстоянии нескольких миллиметров, а иногда и нескольких сантиметров одна от другой. На низких частотах ток меняется медленнее, и для эффективной передачи энергии между катушками трансформатора их приходится наматывать одну на другую и, что особо важно, обязательно располагать на стальном сердечнике.

Важнейшим достоинством трансформаторов является то, что они позволяют при передаче энергии в необходимое число раз увеличивать либо уменьшать напряжение (стр. 164).

Продолжим рассмотрение схемы приемника с индуктивной связью во входной цепи. Высокочастотный ток, наведенный в антенне, проходит по катушке связи  $L_{св}$ . Магнитное поле этой катушки наводит ток в контурной катушке  $L_k$  (эти катушки размещены рядом), и таким образом энергия из антенной цепи передается в контур. Сближая либо раздвигая катушки  $L_{св}$  и  $L_k$ , можно усиливать или ослаблять связь контура с антенной. Обычно в приемниках индуктивность  $L_{св}$  делают в четыре-пять раз больше, чем индуктивность  $L_k$ , и эти катушки легко различить по внешнему виду. Однако в детекторном приемнике индуктивность катушки  $L_{св}$  лучше всего подбирать опытным путем.

Четвертая схема (лист 86) отличается от третьей тем, что детектор подключен к отводу от катушки  $L_k$ . При этом к детектору подводится лишь часть напряжения, действующего на контуре, что, конечно, является недостатком. Но во многих случаях мы миримся с этим недостатком, так как подобное включение детектора позволяет улучшить добротность контура.

Дело в том, что цепь детектор — телефон пат у чает энергию из контура, а следовательно, эту цепь нужно рассматривать как сопротивление, шунтирующее контур ( $R_{ш}$ ). Подключая цепь детектор — телефон к части контура, мы уменьшим ток, который пойдет через нее, и тем самым уменьшим потери энергии в этой цепи (то есть увеличим добротность  $Q$  контура). Так, например, если на контуре действует напряжение 10 в, а сопротивление цепи детектор — телефон 1 ком, то через эту цепь пойдет ток 10 ма.

Если же подключить детектор к средней точке катушки, то к нему уже будет приложено напряжение в 5 в (катушку можно рассматривать как делитель напряжения), ток в цепи детектор — телефон уменьшится до 5 ма, а следовательно, уменьшится и мощность, потребляемая этой цепью от контура. Это, в свою очередь, приведет к повышению добротности  $Q$ . Таким образом, чем ниже (по схеме) точка подключения детектора, тем меньше подводимое к нему напряжение, но в то же время больше  $Q$  контура. Можно так подобрать отвод от катушки  $L_k$ , что ток в цепи детектор — телефон уменьшится незначительно, а  $Q$  контура возрастет в полтора-два раза. А чем выше добротность, тем сильнее проявляется одно из замечательных свойств контура — его избирательность.

## КОНТУР ВЫБИРАЕТ

Если изменять частоту переменного тока, который подводится к контуру от генератора, то будет изменяться амплитуда тока в контуре. Измеряя ток в контуре при разных частотах генератора, можно построить график, показывающий зависимость этого тока от частоты. Такой график называется резонансной кривой контура. Наибольший контурный ток будет при резонансе, когда частота генератора равна частоте собственных колебаний  $f_0$ , которую обычно называют резонансной частотой и иногда обозначают  $f_{рез}$ .

При отходе от резонансной частоты ток в контуре уменьшается, причем, чем сильнее отличается частота генератора от резонансной, тем меньше контурный ток (рис. 52). Поэтому, если подключить к контуру антенну и, подобрав индуктивность  $L_k$  и емкость  $S_k$ , настроить его в резонанс с принимаемой станцией (то есть сделать так, чтобы частота собственных колебаний контура  $f_0$  стала равна частоте принимаемой станции), то сигналы других станций, частоты которых отличаются от резонансной, будут ослабляться (рис. 54, 55).

Предположим, что в антенне действуют три одинаковых по силе сигнала от трех радиостанций, одна из которых работает на частоте 150 кгц, другая на частоте 200 кгц и третья на частоте 1000 кгц. Из антенны все эти сигналы поступают в контур приемника, настроенный на частоту 200 кгц. В этом случае, несмотря на то что в антенне все три станции создают одинаковые по силе сигналы, самое большое напряжение на контуре создаст сигнал с частотой 200 кгц, так как для него контур настроен в резонанс. Напряжения с частотой 150 кгц и особенно 1000 кгц окажутся намного меньше. Так, например, если сигнал с частотой 200 кгц создаст на контуре напряжение 1 в, то сигнал с частотой 150 кгц создаст напряжение 0,1 в, а сигнал с частотой 1000 кгц, особенно далекой от резонанса, создаст на контуре напряжение не более 0,01 в. Эти цифры можно считать вполне реальными. Конечно, изменив индуктивность и емкость контура, можно настроить его на другую частоту, например 150 кгц, и тем самым добиться ослабления сигналов с частотами 200 кгц и 1000 кгц.

Судя по резонансной кривой, меньше всех будут ослабляться сигналы соседних станций, частота которых на 10 кгц больше или меньше частоты принимаемой станции (лист 91). Относительное число, показывающее, во сколько раз контурный ток (или напряжение на контуре) с частотой принимаемой станции больше, чем контурный ток с частотой соседней станции (при условии, что ток, наведенный обеими станциями, в антенне одинаков), называется избирательностью по соседнему каналу. Так, например, если напряжение резонансной частоты равно 5 в, а напряжение соседней станции 0,5 в, то избирательность контура равна 10.

Избирательность — это замечательное свойство контура, и благодаря этому свойству без колебательных контуров не обходится ни один приемник. Именно избирательность колебательного контура дает возможность выделить сигналы нужной нам станции среди бесчисленного множества сигналов, действующих в антенне.

Об избирательности контура можно судить по «остроте» резонансной кривой. Чем острее резонансная кривая, чем круче ее спады, тем больше будет ослабляться сигнал соседней мешающей станции, тем лучше избирательность приемника. Форма резонансной кривой сильно зависит от добротности  $Q$  контура: чем больше  $Q$ , тем «острее» резонансная кривая. Таким образом улучшение добротности контура не только увеличивает чувствительность приемника, но и повышает его избирательность (рис. 54, 55).

В некоторых приемниках, предназначенных для местного приема, имеется несколько контуров, каждый из которых настроен на определенную станцию. Включение нужного контура осуществляется с помощью переключателя, и такая система получила название фиксированной настройки. Фиксированная настройка очень удобна для радиослушателя, но с увеличением числа принимаемых станций схема и конструкция приемника сильно

усложняются.

Значительно проще осуществить прием большого числа станций, если применить плавную настройку колебательного контура путем постепенного изменения емкости  $C_k$  или индуктивности  $L_k$ .

Для плавной настройки приемника обычно используется конденсатор переменной емкости (лист 92). Такой конденсатор состоит из двух частей: неподвижной — статора и подвижной — ротора. Статор и ротор собраны из тонких пластин, причем ротор соединен с металлическим корпусом конденсатора, а статор изолирован от него. Большое число пластин необходимо для того, чтобы получить сравнительно большую емкость при небольших габаритах конденсатора. При монтаже ротор, как правило, соединяют с нижним (по схеме) концом катушки, то есть фактически заземляют. При повороте ротора изменяется расстояние между его пластинами и пластинами статора, а вместе с этим изменяется и емкость конденсатора. Основной характеристикой таких конденсаторов является максимальная емкость  $C_{\max}$  (пластины полностью введены) и минимальная емкость  $C_{\min}$  (пластины полностью выведены). На схемах указываются обе эти величины (через тире).

Широкое распространение получили стандартные блоки, состоящие из двух конденсаторов переменной емкости (двух секций), каждый из которых имеет максимальную емкость  $C_{\max} = 450$  (520) пф и минимальную  $C_{\min} = 15$  (25) пф. Роторы обеих секций соединены между собой, так как они закреплены на общей металлической оси. На схеме конденсаторы, роторы которых закреплены на одной оси, соединяют пунктирной линией. В случае необходимости, например в детекторном приемнике, можно использовать только одну секцию блока, не подключая никуда статор второй секции.

С помощью одного конденсатора стандартного блока можно плавно изменять частоту настройки контура в три-четыре раза и таким образом полностью перекрыть один из радиовещательных диапазонов. При этом максимальной емкости будет соответствовать самая низкая частота диапазона, а минимальной емкости — самая высокая частота. Это следует из рассмотренной нами основной формулы для  $f_0$ : с увеличением емкости конденсатора резонансная частота контура уменьшается.

Для перехода с одного диапазона на другой в контуре осуществляется переключение катушек. Так, например, для перехода с длинных волн на средние индуктивность катушки  $L_k$  уменьшают примерно в десять раз, а при переходе на короткие волны — еще в десять — двадцать раз. Конденсатор настройки на всех диапазонах используется один и тот же, а катушки к нему подключаются с помощью переключателя (переключатель диапазонов, рис. 56).

Рис. 56. Для настройки приемника на нужную станцию в пределах диапазона используется конденсатор с плавно меняющейся емкостью, а для перехода с диапазона на диапазон — включение катушек с различной индуктивностью.

Для того чтобы при налаживании приемника можно было точно подогнать границы диапазона, в контур вводят элементы подстройки. Один из этих элементов — это подключенный непосредственно к катушке, а следовательно, определяющий общую емкость контура, подстроечный конденсатор  $C_p$  (лист 93), емкость которого можно изменять от 5—10 до 25—50 пф. Этот конденсатор (его иногда называют «триммер») особенно сильно влияет на настройку контура на самых высоких частотах, когда ротор конденсатора настройки выведен. Это объясняется тем, что подстроечный конденсатор фактически подключен параллельно конденсатору настройки  $C_k$ , и общая емкость контура определяется их суммой.

Когда емкость конденсатора настройки  $C_k$  мала, то даже небольшие изменения емкости  $C_p$  оказываются весьма ощутимыми. Если же полностью ввести ротор конденсатора  $C_k$ , то на

фоне его большой емкости влияние  $S_p$  будет незначительным. Сказанное хорошо иллюстрируется простым примером. Допустим, что емкость  $S_k$  изменяется от 20 пф до 500 пф, а емкость  $S_p$  можно менять в пределах 5—30 пф. При выведенном роторе конденсатора настройки ( $S_k = 20$  пф) общую емкость контура можно менять с помощью  $S_p$  от 25 пф ( $20 + 5$ ) до 50 пф ( $20 + 30$ ), то есть в два раза. Когда же мы введем ротор ( $S_k = 500$  пф), то общую емкость контура можно будет менять лишь на 5 % — от 505 пф ( $500 + 5$ ) до 530 пф ( $500 + 30$ ). Поэтому мы и говорим, что в основном  $S_p$  влияет на резонансную частоту контура на самых высоких частотах диапазона, то есть при минимальной емкости конденсатора  $S_k$  (рис. 57, 58).

Рис. 57. На коротковолновом участке любого диапазона (высшие частоты, ротор выведен) подстройку производят с помощью подстроечного конденсатора...

Рис. 58. ...а на длинноволновом участке (низшие частоты, ротор введен) с помощью сердечника катушки и подбором числа витков.

После налаживания приемника, когда емкость подстроечного конденсатора  $S_p$  окончательно подобрана, к нему больше не прикасаются.

Чаще всего встречаются следующие типы подстроечных конденсаторов: воздушный, очень напоминающий обычный конденсатор настройки с небольшим числом миниатюрных статорных и роторных пластин; трубчатый, в котором обе обкладки имеют форму цилиндров (наподобие конденсатора КТК), один из которых перемещается с помощью винта; дисковый керамический, состоящий из двух керамических частей — основания и поворачивающегося диска, на который нанесен слой серебра — одна из обкладок конденсатора. Вторая обкладка закреплена на керамическом основании. При вращении керамического диска меняется взаимное расположение обкладок, а следовательно, и емкость конденсатора. Во всех случаях подстроечный конденсатор обозначается на схеме как обычный постоянный, с той лишь разницей, что нижняя черточка рисуется в виде дуги со стрелкой.

Очень удобно производить подстройку контура, если в катушке имеется ферромагнитный сердечник. Вдвигая такой сердечник в катушку, мы увеличиваем ее индуктивность и уменьшаем резонансную частоту контура. Если катушка выполнена из двух отдельных секций, то ее индуктивность можно изменять, сближая либо раздвигая секции: чем ближе одна секция к другой, тем сильнее взаимодействуют их магнитные поля, как бы усиливая друг друга, тем, следовательно, больше общая индуктивность катушки (лист 96). Сказанное справедливо лишь тогда, когда секции намотаны в одну и ту же сторону и начало одной из них соединено с концом другой. Если не выполняется одно из этих условий, то магнитные поля отдельных секций ослабляют друг друга, и при сближении секций общая индуктивность уменьшается.

Если в контуре имеется и подстроечный конденсатор и катушка с сердечником, то подстройку контура путем изменения индуктивности катушки целесообразно производить при максимальной емкости конденсатора настройки  $S_k$ , то есть тогда, когда подстроечный конденсатор  $S_p$  на резонансную частоту почти не влияет (рис. 58).

Используя одну секцию стандартного блока конденсаторов, две катушки и переключатель для включения этих катушек в контур (переключатель диапазонов), можно собрать детекторный приемник с плавной настройкой на ДВ и СВ диапазонах. Благодаря резонансным свойствам контура такой приемник будет обладать некоторой избирательностью и будет работать громче, чем простейший детекторный приемник, описанный в предыдущей главе.

**ДЕТЕКТОРНЫЙ, ДВУХДИАПАЗОННЫЙ, С ПЛАВНОЙ НАСТРОЙКОЙ**

На чертеже 2 показаны общий вид и принципиальная схема двухдиапазонного детекторного приемника с плавной настройкой.

Чтобы этот приемник работал, к нему нужно подключить наружную антенну (к гнезду «А») и заземление (к гнезду «З»). Гнездо «А» (антенна) соединяется с переключателем диапазонов. Последний фактически состоит из нескольких одинаковых переключателей (их обычно называют секциями), которые связаны с одной общей осью и поэтому управляются (переключаются) одновременно (лист 94, чертеж 7).

На схемах и в описании отдельные секции какого-либо переключателя обозначаются буквой П (переключатель) с индексом, который состоит из цифры и буквы. Цифра указывает порядковый (для данной схемы) номер переключателя, а буква относится к определенной секции.

Так, например, если в схеме имеется два переключателя, то секции первого из них будут обозначаться: П1а, П1б и т. д. в зависимости от числа секций. Секции второго переключателя будут обозначаться П2а, П2б и т. д.

Во всех приемниках, которые нам предстоит построить, будет использован один переключатель, обозначаемый на схемах как П1. В этом переключателе должно быть четыре секции (а, б, в, г), каждая из которых имеет один подвижной и три неподвижных контакта. В крайнем случае можно обойтись переключателем с тремя секциями, то есть с тремя подвижными контактами.

Во многих любительских приемниках используются более простые переключатели — тумблеры (лист 95), а также более сложные, но зато более удобные клавишные переключатели, где все необходимые переключения (коммутация) осуществляются путем замыкания или размыкания тех или иных контактов (аналогично верхнему рисунку на листе 94).

Подвижной контакт переключателя диапазонов на наших схемах обозначается буквой п с индексом соответствующей секции. Например, обозначение пб соответствует подвижному контакту секции б. При переключении диапазонов каждый подвижной контакт соединяется с каким-либо из трех неподвижных контактов своей секции. Обозначения неподвижных контактов соответствуют диапазону, на котором к ним подключаются подвижные контакты. Так, например, обозначение бд означает «секция б диапазон длинных волн», аналогично обозначение ак соответствует секции а и диапазону коротких волн. Такую подробную систему мы ввели для того, чтобы начинающему радиолюбителю легче было разбирать схему и монтировать приемник.

В нашем детекторном приемнике из четырех секций переключателя П1 используются только две — П1а и П1б. Остальные секции в этом приемнике не нужны, и контакты их никуда не подключаются. К подвижному контакту ап через гнездо А подключается антенна. При приеме на длинных волнах (крайнее верхнее положение подвижного контакта) антенна оказывается подключенной к катушке связи L1, которая, в свою очередь, индуктивно, то есть через общий магнитный поток, связана с контурной катушкой L2. Индуктивность катушки L2 выбрана таким образом, что она вместе с конденсатором настройки обеспечивает резонансные частоты контура, соответствующие станциям длинноволнового диапазона (150–420 кгц). Конденсатор настройки С5, а вместе с ним и цепь детектор — телефон подключаются к контурной катушке L2 отдельной секцией П1б.

Как уже говорилось, перемещение подвижных контактов происходит одновременно во всех секциях переключателя, и поэтому при переходе на средние волны антенна будет подключена уже к катушке связи L3 вместо L1, а в контур будет входить катушка L4 вместо L2

Следует заметить, что подстроечные конденсаторы С2 и С3 коммутировать (переключать) нет необходимости. Каждый из них соединяется с соответствующей контурной катушкой и



вместе с ней включается в контур. Конденсатор настройки С5 и цепь детектор — телефон являются общими для обоих диапазонов, и поэтому они подключаются либо к катушке L2 (ДВ), либо к катушке L1 (СВ). Параллельно головному телефону подключен так называемый конденсатор фильтра, с ролью которого мы познакомимся несколько позже. Попутно заметим, что головные телефоны обычно идут в комплекте по два (два наушника на общем оголовье) и соединены последовательно. В предлагаемой схеме детекторного приемника выбрана индуктивная связь контура с антенной (лист 86). Сделано это для того, чтобы изготовленные для детекторного приемника катушки можно было использовать и в других приемниках, в том числе и в супергетеродине. При желании можно сделать и более простую — емкостную связь с антенной (лист 85). В этом случае катушки связи L1 и L3 уже не нужны. Не нужна и секция П1а переключателя диапазонов, так как конденсатор связи Ссв (С1) можно подключить непосредственно к контуру (пунктирная линия). Емкостную связь с антенной можно применять почти во всех приемниках, которые нам предстоит построить, и во всех случаях это будет давать «экономия» целой группы катушек и одной секции переключателя диапазонов.

Не следует путать конденсатор связи С'1 с защитным конденсатором С1, который нужен для того, чтобы защитить входную цепь при случайном соединении антенны с проводами электросети. Емкость С, достаточно велика и для токов высокой частоты не представляет большого сопротивления. В то же время для частоты 50 гц (частота тока в электросети) сопротивление конденсатора С, настолько велико, что он фактически разрывает цепь антенны.

Теперь поговорим о конструкции нашего приемника и о применяемых в нем самодельных деталях.

Конечной нашей целью является постройка четырехлампового трехдиапазонного супергетеродинного приемника (чертеж 1).

К этой цели мы будем двигаться постепенно, шаг за шагом, строя детекторные и простейшие ламповые приемники.

Для того чтобы на каждом промежуточном этапе не изготавливать шасси и корпус простейшего приемника, мы остановимся на блочной конструкции. Основой ее является деревянная рама (чертеж 3), на которой закрепляются небольшие фанерные панели.

На них и собираются отдельные узлы различных ламповых приемников. Такая блочная система позволяет легко переходить от одного типа лампового приемника к другому и потом из нескольких блоков собрать супергетеродин. При желании любой из ламповых приемников можно собрать на отдельном деревянном или металлическом шасси и изготовить для него футляр.

Детекторный приемник собирают на панели (панель ВЧ), которая будет использована и в других приемниках. Исходя из этого и выбраны размеры панели (чертеж 3) и размещены на ней основные детали.

Основными самодельными деталями приемника являются контурные катушки. Конструкций этих катушек может быть бесчисленное множество, но мы рассмотрим лишь наиболее распространенные (чертежи 4 и 5).

В современных фабричных приемниках наиболее широко применяются катушки, намотанные на небольших каркасах из полистирола, разделенных перегородками на четыре секции. Каждый из этих каркасов снабжен полистироловым винтом, к которому приклеен небольшой (диаметр 2,5 мм, длина 12–14 мм) подстроечный сердечник из феррита. На такой каркас может надеваться дополнительная, более широкая секция, специально предназначенная для катушки связи. Такие каркасы используются в приемниках «Люкс», «Дружба», «Байкал», «Октава» и многих других. В таблицах на чертежах 4 и 5 приведены намоточные данные

катушек, и в частности катушек L1, L2, L3, L4, которые используются в нашем приемнике.

Совершенно очевидно, что катушка L1 объединяется, на одном каркасе с L2, а катушка L3 с катушкой L4.

В заводских приемниках весьма широкое распространение получили также катушки в разборных горшкообразных сердечниках СБ-1 (сердечник броневой с внешним диаметром 12,5 мм). Такой сердечник состоит из двух чашек, в одну из которых ввинчивается подстроечный винт (чертеж 4, в). В чашки вставляется небольшой трехсекционный каркас, на который и наматывается катушка. Когда число витков катушки окончательно подобрано, чашки склеиваются друг с другом, а концы катушек выводятся через небольшое отверстие. Важно отметить, что половинки горшкообразного сердечника должны плотно соединяться друг с другом, иначе индуктивность катушки заметно снизится.

Для катушек связи с антенной (L1 и L3) нужно склеить из картона отдельные каркасы с внутренним диаметром 12,5—13 мм. На одном из этих каркасов разместится катушка L1, а на другом — L3. Внутри самодельных картонных каркасов вставляются соответствующие контурные катушки L2 и L4.

В сравнительно старых приемниках часто применяли катушки, выполненные в пластмассовых каркасах диаметром 12–15 мм, как правило снабженных подстроенными сердечниками (чертеж 4, б). Такие каркасы с сердечниками можно использовать для нашего приемника, установив на них картонные щечки, между которыми и располагаются обмотки.

Таким образом, мы получим на каждом каркасе по две секции — одну для катушки связи L1 или L3, а другую — для контурной катушки. Указать число витков катушек для этого случая точно нельзя, так как эти данные зависят от диаметра каркаса, материала сердечника и его размеров. Поэтому намоточные данные, приведенные в таблице, нужно рассматривать как весьма приближенные.

Если вам не удастся достать один из перечисленных типов каркасов, то можно изготовить катушки на обычных охотничьих папковых (картонных) гильзах 12 калибра, то есть с внешним диаметром 20 мм (чертеж 4, а). Поскольку сердечников в этих катушках нет, то точную подгонку индуктивности производят путем перемещения витков. Для этого общее число витков разбивают на две примерно равные части, каждую из которых размещают в отдельной секции (ширина секций по 5 мм). Одну из секций делают подвижной, склеив для нее каркас из плотной бумаги. При сближении секций общая индуктивность увеличивается, что объясняется усилением общего магнитного поля. Увеличение индуктивности при сближении секций произойдет лишь в том случае, если эти секции соединены между собой «согласно», когда одна катушка как бы является продолжением другой, катушки намотаны в одну и ту же сторону, и начало одной из них соединено с концом другой (лист 96).

Если нарушить одно из этих условий, то получится уже соединение «навстречу», и при сближении секций общая индуктивность будет уменьшаться. В катушках связи L1 и L3 индуктивность подгонять не нужно, так как подбор ее не требует большой точности и поэтому катушки связи размещают в одной секции шириной 8 мм.

Для катушки L4, выполненной на папковых гильзах, можно применить однослойную намотку (чертеж 1). Такая катушка должна содержать 160 витков (например, 120 + 40 или 2x80). Одна из секций намотана на подвижной гильзе, склеенной из бумаги. Катушка связи с антенной имеет те же данные, что и в предыдущем случае.

Вблизи каждой катушки для удобства монтажа в фанерной панели закрепляется несколько лепестков из белой жести, к которым припаиваются выводы катушек и монтажные провода (чертежи 1, 6, 8).

Рядом с лепестками располагаются подстроечные конденсаторы, которые могут быть любого типа, например керамические. Подстроечные конденсаторы можно изготовить самому. Одной из обкладок самодельного конденсатора (лист 93) является сравнительно большой лепесток из белой жести (чертеж 6), на который плотно надевают плоскую бумажную гильзу, склеенную из двух-трех слоев кальки. На кальку наматывают один слой любого медного провода, который и играет роль второй обкладки конденсатора. Перемещая бумажную гильзу вдоль жестяного лепестка, можно менять емкость от 5—10 до 25—30 пф. Для того чтобы ослабить влияние руки на емкость конденсатора (при настройке), нужно заземлить, то есть соединить с нижним по схеме концом катушки, ту обкладку конденсатора, которая выполнена в виде слоя медного провода, причем совершенно безразлично, заземлить ли одновременно оба конца этого провода или же только один.

подавляющее большинство фабричных и любительских приемников монтируется на металлическом, обычно стальном, шасси. Металлическое шасси используется как проводник, соединяющий все точки схемы, которые должны подключаться к гнезду «Земля». Таких точек в любом приемнике очень много, и поэтому использование шасси позволяет сильно упростить монтаж — вместо того чтобы ту или иную точку соединять с гнездом «Земля», эту точку соединяют с шасси, которое, в свою очередь, соединяют с гнездом «Земля». Поэтому если в дальнейшем вы встретите указание о том, что какую-либо точку нужно заземлить, то ее нужно просто соединить с металлическим шасси (лист 97).

Слова «заземлить», «заземленный», «заземление» можно встретить и при описании различных устройств (например, усилителей, магнитофонов, измерительных приборов, в которых даже нет гнезда «Земля», но и в этом случае под заземлением имеется в виду соединение той или иной детали с шасси.

В нашем приемнике шасси сделано из дерева и фанеры, но по краю каждой панели и, в частности, панели ВЧ проходит толстый, предварительно залуженный медный провод, так называемая земляная шина, или земляной провод. Он-то и выполняет роль металлического шасси. К земляному проводу подключают все цепи, которые нужно заземлить. На схемах этот провод не показан, а подключение к нему обозначается как обычное соединение с металлическим шасси. Крепление земляного провода осуществляется с помощью жестяных лепестков.

К земляному проводу подключается и корпус конденсатора настройки, а следовательно, соединенный с корпусом ротор этого конденсатора. Статор одной из секций соединяется с контактом бп — переключателя диапазонов, статор второй секции в детекторном приемнике никуда не подключается.

Несколько слов следует сказать о переключателе. Наиболее широкое распространение получили переключатели, состоящие из фиксатора и нескольких керамических или гетинаксовых панелей (галет), на которых и закреплены контакты (чертеж 7, А). В нашем приемнике такой галетный переключатель диапазонов закрепляется на небольшой фанерной панели, которая, в свою очередь, крепится к деревянной раме. Рядом с переключателем на панели закреплены два переменных сопротивления, которые будут использованы в ламповых приемниках.

Нам необходим переключатель с четырьмя секциями на три положения, то есть для трех диапазонов. Если попадется переключатель на большее число положений или с большим числом секций, то это не беда — некоторые из них можно будет просто не использовать. Если удастся достать переключатель с тремя секциями, то можно применить и его, отказавшись от индуктивной связи с антенной (см. стр. 120).

Если вам не удастся достать фабричный переключатель, то его можно сделать самому (чертеж 7, Б—3). Самодельный переключатель имеет четыре подвижных контакта (3),

сделанных из жести и закрепленных на вращающейся фанерной крестовине (Г). Четыре группы неподвижных контактов (Е) закреплены на фанерной панели. Каждый неподвижный контакт можно сделать из белой жести или в виде трех-четырех витков медной проволоки диаметром 0,6–0,8 мм, тщательно очищенной от изоляции. Под неподвижные контакты подкладываются маленькие бруски из твердых пород дерева, а в подвижных контактах делают вмятину, благодаря чему и осуществляется фиксация переключателя в нужных положениях (Ж). Подключение подвижного контакта к соответствующему лепестку переключателя осуществляется с помощью мягкого многожильного провода.

Следует сразу же заметить, что самодельный переключатель изготовить сравнительно сложно, а высокой надежностью он не отличается. Поэтому делать переключатель самому следует лишь в самом крайнем случае.

Важным узлом приемника является шкальное устройство, которое нужно изготовить сразу же, не дожидаясь окончания всех работ, так как шкала будет использоваться нами при настройке всех приемников, в том числе и детекторного. Сама шкала (чертеж 6) аккуратно и точно вычерчивается цветной тушью на плотной бумаге и наклеивается на подшкальник, сделанный из белой жести. На ось конденсатора настройки плотно насаживается большой шкив, который можно сделать из трех тонких фанерных дисков или какой-нибудь круглой жестяной крышки. Для крепления шкива на ось конденсатора плотно надевается жестяная трубка, к которой уже припаивается жестяной шкив или жестяная заклепка, стягивающая отдельные диски фанерного шкива. После того как шкив закреплен и установлена шкала, на ось конденсатора настройки надевают стрелку, также сделанную из жести. Шкив при помощи тросика (капроновая нить с пружинкой) связан с осью настройки, которая может выполняться по-разному.

В приемнике с самодельным переключателем диапазонов лучше всего применить ось от сгоревшего переменного сопротивления вместе с деталями ее крепления — резьбовой втулкой и гайками. Такую же ось можно применить и в приемнике с фабричным переключателем, но при этом на передней панели будет уже четыре ручки управления. Для того чтобы сохранить три ручки, одну из них, а именно среднюю, нужно сделать сдвоенной. Для этого на ось переключателя диапазонов следует надеть свободно вращающуюся трубку, на которую будет одеваться тросик, идущий к шкиву (чертеж 6). Ручка настройки в этом случае применяется специальная — с большим внутренним отверстием.

На панели ВЧ заранее устанавливается панелька для усилительной лампы. Эта панелька будет использована во всех ламповых приемниках, а предварительная установка ее избавит от необходимости проводить сложные столярные работы на уже смонтированной панели. Кроме того, лепестки ламповой панели при монтаже детекторного приемника можно будет использовать как опорные точки для крепления проводов.

Панелька может быть пластмассовая или керамическая (керамическая лучше) и обязательно должна иметь девять гнезд (не считая центрального отверстия, если таковое имеется). Это замечание очень важно, так как для многих ламп применяются панельки, у которых имеется семь гнезд, или панельки с восемью гнездами для ламп более старых серий. Панельки с девятью гнездами предназначены для ламп: 6И1П, 6П14П, 6Н2П и др. (лист 109).

На краю панели ВЧ закреплено пять сравнительно длинных лепестков из белой жести, образующих так называемую «гребенку» (гребенка Г1). Такая же гребенка будет установлена на соседней панели (гребенка Г2), и, спаяв соответствующие лепестки гребенок, можно будет соединить панели между собой.

Вот мы и рассмотрели основные особенности конструкции нашего приемника, и теперь можно приступать к его монтажу.

Опытные любители производят монтаж, пользуясь лишь принципиальной схемой, но для начинающих удобно составить еще и монтажную схему, из которой видно примерное размещение всех деталей и их взаимное соединение.

На чертеже 2 показана монтажная схема нашего детекторного приемника. Чтобы вам легче было пользоваться монтажной схемой и согласовывать ее с принципиальной, на обеих схемах одинаковыми индексами (красным цветом) обозначен целый ряд монтажных точек. Пользуясь принципиальной, а тем более монтажной схемой, можно легко смонтировать, или, как часто говорят любители, «спаять», приемник.

Правильно собранный приемник при подключении антенны[9] и заземления должен сразу же заработать: поворачивая ручку настройки, вы сможете принять местную станцию. В том, что станция в данный момент работает, можно убедиться, приняв ее на обычном ламповом приемнике.

Если окажется, что приемник не работает, то нужно прежде всего спокойно и внимательно проверить монтаж и детали.

Чаще всего могут встретиться такие неисправности: плохие контакты в гнездах антенны, заземления или телефонов; ненадежные контакты в монтаже из-за плохой пайки; ненадежные контакты в переключателе из-за его загрязнения, незаметного на глаз; обрыв монтажного провода (имеется в виду одножильный медный провод в хлорвиниловой изоляции); короткое замыкание между статором и ротором конденсатора настройки или между обкладками конденсатора фильтра; неисправность в полупроводниковом диоде; обрыв в контурной катушке или обмотке головных телефонов. Все эти неисправности сводятся к двум основным: обрыву цепи и короткому замыканию, а их легко обнаружить с помощью любого омметра или пробника, состоящего из батарейки и какого-нибудь индикатора — стрелочного прибора (лист 98) или даже обычной лампочки. Простейший пробник для проверки цепей можно собрать из батарейки и телефона. Если подключить такой пробник к исправной цепи, то в момент подключения в телефонах будет слышен сильный щелчок; при оборванной цепи щелчка не будет. При проверке конденсаторов малой емкости — наоборот, наличие сильных щелчков будет свидетельствовать о коротком замыкании между пластинами.

Простейшими пробниками можно пользоваться лишь в крайнем случае. Лучше всего для налаживания приемника иметь авометр — универсальный измерительный прибор, в который входит амперметр, вольтметр и омметр (отсюда название «авометр»). Наша промышленность выпускает много различных типов авометров: ТТ-1, ТТ-2, Ц-20, Ц-315 и др. Любой из них может оказаться чрезвычайно полезным как при налаживании самодельных детекторных и ламповых приемников, так и при проверке и ремонте промышленной радиоаппаратуры — магнитофонов, приемников, телевизоров, радиоузлов и т. п.

Когда вы убедитесь в работоспособности построенного детекторного приемника, а для этого достаточно принять хотя бы одну радиостанцию, можно приступить к его наладке. Она в основном сведется к тому, что изменением индуктивности катушек (это осуществляется перемещением подвижных секций или подстроечных сердечников, а в крайнем случае, подбором числа витков катушек), а также подгонкой емкости подстроечных конденсаторов нужно будет добиться совпадения положения стрелки по шкале с частотой принимаемой станции.

Так, например, если идет прием на частоте 150 кгц (2000 м), а стрелка, связанная с ротором конденсатора настройки, показывает частоту 200 кгц (1500 м), то значит, параметры контура подобраны неправильно и его граничные резонансные частоты, то есть частоты, соответствующие полностью введенному и полностью выведенному ротору конденсатора настройки, смещены относительно границ нужного нам диапазона в сторону более низких

частот.

Как мы уже отмечали (лист 51), участок длинноволнового диапазона, где работают радиовещательные станции, ограничен частотами: минимальной 150 кгц (2000 м) и максимальной 420 кгц (740 м). Предположим, что в нашем приемнике границы сдвинуты на 50 кгц, то есть он может принимать станции, работающие на частотах от 100 до 370 кгц. Это значит, что приемник будет работать на участке 100–150 кгц, где вещательных станций нет, и, наоборот, станции, работающие на участке 370–420 кгц, приемник принимать не будет. Действительно, когда мы установим стрелку на шкале в крайнее положение, соответствующее частоте 420 кгц, контур фактически будет настроен на частоту 370 кгц, и настроиться на более высокую частоту нам не удастся, так как для этого нужно уменьшить емкость контура, а ротор конденсатора уже выведен до конца.

В другом конце диапазона будет наблюдаться обратная картина: ротор еще полностью не введен и стрелка указывает на частоту 200 кгц, а контур уже настроен на самую низкую из нужных нам частот — 150 кгц. Если мы будем и дальше увеличивать емкость контура, вводя ротор конденсатора, то будем настраивать контур на еще более низкие частоты 140, 130... 100 кгц, где радиовещательные станции, как уже отмечалось, не работают.

Можно ли избавиться от всех этих недостатков? Можно, и сравнительно просто.

Давайте вновь передвинем стрелку на деление «200 кгц» и таким образом настроимся на станцию, работающую на частоте 150 кгц. Теперь попробуем, постепенно вывинчивая сердечник из контурной катушки, уменьшать ее индуктивность. Вы, конечно, не забыли, что резонансная частота контура в одинаковой степени зависит от его индуктивности и емкости. Если мы уменьшаем индуктивность и хотим сохранить настройку на станцию, то нам придется увеличивать емкость контура, то есть вводить ротор конденсатора настройки. При этом, естественно, стрелка будет перемещаться в сторону более длинных волн, все ближе к частоте 150 кгц, на которой и работает наша станция. Уменьшать индуктивность контура нужно до тех пор, пока точная настройка на станцию не будет соответствовать нужному положению стрелки на шкале.

Устанавливая нужные нам границы резонансной частоты контура, можно пользоваться и подстроечным конденсатором, так как общая емкость контура равна сумме емкостей конденсаторов настройки и подстроечного. Действительно, если мы будем уменьшать емкость подстроечного конденсатора, то, для того чтобы сохранить резонансную частоту неизменной, нам придется увеличивать емкость конденсатора настройки, то есть вводить его ротор. А это значит, что стрелка будет перемещаться по шкале в нужном направлении — в сторону более длинных волн.

Настраивая входной контур детекторного приемника, следует помнить общее для настройки всех контуров правило: при выведенном роторе резонансную частоту контура подгоняют с помощью подстроенного конденсатора, а при введенном роторе — путем изменения индуктивности катушки (рис. 57, 58, лист 99).

Начинать удобнее с длинноволнового участка диапазона (ротор введен, подбирается индуктивность), после этого следует перейти к подгонке частоты на коротковолновом участке (ротор выведен, подбирается емкость подстроечного конденсатора), затем желательно вернуться обратно на длинноволновый участок и в заключение еще раз произвести подстройку на коротковолновом участке. Конечно, в детекторном приемнике почти никогда нет возможности выполнить всю эту программу из-за весьма ограниченного числа принимаемых станций. Поэтому в таком приемнике желательно лишь приблизительно подобрать индуктивность катушек. Более точную подстройку контуров мы произведем в ламповых приемниках, где изготовленные нами катушки будут использованы без изменений. Следует помнить, что во время настройки приемника антенну уже нельзя подключать

непосредственно к контуру, так как собственная емкость антенны может сильно его расстроить.

Собрав и наладив двухдиапазонный детекторный приемник, вы испытаете огромное, ни с чем не сравнимое удовлетворение. При наличии хорошей наружной антенны вечером, а особенно ночью, когда условия распространения длинных и средних волн улучшаются, вы наверняка сможете принять несколько сравнительно дальних станций. Настраиваясь то на одну, то на другую станцию, вы практически почувствуете, какая замечательная вещь колебательный контур.

Но первые же эксперименты с детекторным приемником покажут вам, что с помощью одного колебательного контура многого не добьешься: приемник работает тихо, число принимаемых станций невелико, сигналы мешающих станций зачастую ослабляются явно недостаточно.

На первый взгляд может показаться, что, применив в детекторном приемнике несколько одинаковых колебательных контуров, можно улучшить его избирательность и чувствительность. Что касается избирательности, то это действительно так: если в приемнике имеется два контура, каждый из которых ослабляет мешающую станцию в три раза, то общая избирательность будет равна девяти. Увеличение числа контуров — это один из основных путей повышения избирательности. Что же касается повышения чувствительности, то здесь увеличение числа контуров не дает эффекта.

Если в детекторном приемнике будет два контура, то энергия, поступающая из антенны, распределится между ними, и поэтому ток в каждом из контуров будет меньше, чем у одноконтурного приемника. И, к какому из этих двух контуров мы ни подключаем бы детектор, мы не только не улучшим, но даже ухудшим чувствительность по сравнению с одноконтурным приемником.

Для того чтобы обеспечить громкоговорящий прием большого числа радиостанций, необходимо в миллионы и миллиарды раз повысить мощность принятого сигнала, подводимого к антенне. Такое огромное усиление мощности позволяет получить полупроводниковые триоды и электронные лампы, с работой которых мы познакомимся в следующей главе.

## Глава 4

### ВОЛШЕБНАЯ ЛАМПА

С помощью колебательного контура нам удалось несколько повысить чувствительность приемника — контур помог наилучшим образом использовать энергию, которую принесли к антенне радиоволны.

Но мощность сигналов, действующих в антенне, обычно настолько мала, что все «усилия» колебательного контура оказываются совершенно недостаточными для того, чтобы получить громкоговорящий прием. Приходится искать принципиально новый путь для повышения громкости приема: применять электронные лампы или транзисторы — полупроводниковые триоды, с помощью которых можно во много раз усиливать мощность принимаемых сигналов.

Во многих книгах электронную лампу называют волшебной. И это не преувеличение — лампа действительно способна делать чудеса: подводим к лампе слабый электрический сигнал, а из лампы этот сигнал выходит усиленным в тысячи раз. Ну чем не чудеса! Однако все мы отлично знаем, что чудес не бывает ни в цирке, ни в технике, и поэтому попробуем разобраться, как работают «волшебные» усилительные приборы: электронная лампа и ее ближайший помощник — полупроводниковый триод.

Начнем с того, что если говорить строго, то ни лампа, ни полупроводниковый триод электрических сигналов не усиливают и усиливать не могут: слабый электрический сигнал, который мы подводим к лампе, так и остается слабым сигналом. То, что происходит в ламповом или полупроводниковом усилителе, напоминает процесс изготовления больших фотографий с негатива малых размеров. С помощью фотоувеличителя, затратив определенную световую энергию, мы на большом листе фотобумаги создаем новое изображение — увеличенную копию маленького негатива, который здесь играет лишь роль образца.

Усилительные приборы, к числу которых и относятся лампа и транзистор, в процессе усиления сигналов играют примерно ту же роль, что и увеличитель при изготовлении фотографий. С помощью лампы или транзистора слабый электрический сигнал управляет движением зарядов — током мощного источника электрической энергии — подобно тому как с помощью рулевого механизма пилот управляет движением тяжелого многомоторного самолета. И так же, как самолет следует за всеми поворотами рулей, так и электрический ток на выходе усилительного прибора следует за всеми изменениями управляющего (усиливаемого) сигнала. Создание «мощной копии» равносильно усилению слабого сигнала, и поэтому-то полупроводниковый триод и электронную лампу называют их управляющими приборами.

В этой главе мы познакомимся с принципами работы электронной лампы, с основными типами ламп и схемами их включения. Это позволит нам в дальнейшем рассмотреть практические схемы усилителей высокой и низкой частоты, которые могут быть использованы в радиоприемнике.

Обычно в учебниках радиотехники сначала рассматривается устройство и работа лампы, а затем уже рассказывается, как работает транзистор. Мы же поступим наоборот — начнем с полупроводникового триода, так как знакомство с принципом его работы позволит нам легче понять, как работает электронная лампа. ДИОД + ДИОД = ТРИОД?

Мы уже знакомимся с устройством полупроводникового диода. В нем есть две примыкающие друг к другу зоны полупроводникового материала: зона со свободными положительными зарядами (зона p) и зона со свободными электронами (зона n). Область между этими зонами называется pn-переходом.

В полупроводниковом триоде также имеются зоны с различной проводимостью, но не две зоны, как в диоде, а три. Из нескольких типов выпускаемых в настоящее время транзисторов наиболее широкое распространение получили плоскостные германиевые транзисторы типа p-n-p. Основой такого транзистора является кристалл германия, в котором имеется некоторое количество свободных электронов (зона n). В двух местах в этот кристалл вкраплены мельчайшие кусочки металла индия (лист 100). В местах соприкосновения с индием в кристалле германия появляется некоторое количество свободных положительных зарядов. Таким образом, в полупроводниковом триоде по краям зоны n образуются две зоны p, а значит, и два pn-перехода, и поэтому полупроводниковый триод типа p-n-p можно рассматривать как два плоскостных диода с общей зоной n. В плоскостных диодах, так же как и в транзисторах, pn-переход создается путем вкрапления индия в германий.

Один из кусочков индия с прилегающей к нему зоной p получил название «эмиттер» («выбрасывающий заряды»), другой — «коллектор» («собирающий заряды»), а сам кристалл германия (зона «n») называется базой (иногда основанием) триода.

Корпус транзистора обычно выполняют из металла или пластмассы. Из корпуса через миниатюрные стеклянные или керамические изоляторы выходят три тонкие проволоки: выводы коллектора, эмиттера и базы (лист 101).



При использовании транзистора в усилительном каскаде между базой и коллектором включают батарею (ее напряжение обычно составляет несколько вольт), которая и дает энергию, необходимую для получения усиленного сигнала (лист 102, рис. 59).

Рис. 59. Транзистор типа р-п-р можно рассматривать как два полупроводниковых диода с общей зоной п. Первый из этих «диодов» — эмиттерный, рп-переход включен в прямом направлении, и даже слабый входной сигнал сравнительно легко создает в нем ток. Заряды, попавшие из эмиттера на базу, в итоге подходят ко второму диоду (коллекторному рп-переходу) и под действием сравнительно большого напряжения коллекторной батареи создают ток, который выделяет в нагрузке необходимую мощность.

«Плюс» этой батареи соединяют с базой, а «минус» — с коллектором. Таким образом, рп-переход между основанием и коллектором (коллекторный переход) фактически представляет собой диод, включенный в «обратном» направлении, то есть почти не пропускающий тока.

На эмиттер, наоборот, подают небольшое (обычно десятые доли вольта) положительное напряжение, и поэтому рп-переход между эмиттером и базой (эмиттерный переход) фактически представляет собой диод, включенный в прямом направлении, то есть хорошо пропускающий ток.

Но оба эти рп-перехода (эмиттерный и коллекторный) нельзя рассматривать как два отдельных, изолированных друг от друга полупроводниковых диода, так как они имеют общую зону п — кристалл германия. Поэтому, когда появляется ток в цепи, эмиттера, то одновременно с этим возникает ток и в цепи коллектора: почти все положительные заряды, попадающие из эмиттера в базу, «просачиваются» сквозь него (это явление называется диффузией), попадают в коллекторный рп-переход и сразу же начинают двигаться к коллектору под действием отрицательного напряжения на нем (рис. 59). Это напряжение помогает положительным зарядам легко преодолеть сопротивление коллекторного рп-перехода. Вы, очевидно, не забыли, что коллекторный переход — это диод, включенный в обратном направлении, то есть обладающий большим сопротивлением!

Более того, если в цепь коллектора включить какое-нибудь сопротивление (сопротивление нагрузки), то коллекторный ток, затратив часть энергии, полученной от батареи, преодолеет и это сопротивление, выделив на нем соответствующую мощность.

Переменное напряжение, которое нужно усилить, например, переменное напряжение ВЧ, действующее на контуре, или переменное напряжение НЧ, которое можно получить с детектора, подводится к полупроводниковому триоду таким образом, чтобы оно действовало между эмиттером и базой и управляло бы величиной тока в эмиттерном переходе. При этом под действием усиливаемого переменного напряжения изменяется ток эмиттерного перехода, то есть изменяется и количество положительных зарядов, которые из эмиттера попадают в базу, а оттуда переходят в цепь коллектора.

Таким образом, точно следуя за всеми изменениями усиливаемого сигнала, изменяется коллекторный ток — появляется «мощная копия» усиливаемого сигнала. Энергия на создание этой «мощной копии» получена от коллекторной батареи, а роль эмиттерного перехода сводится лишь к тому, чтобы «поставлять» положительные заряды, необходимые для образования коллекторного тока, и регулировать количество «поставляемых» зарядов в соответствии с изменениями усиливаемого сигнала.

Поскольку эмиттерный переход включен в прямом направлении, то необходимый ток эмиттерной цепи, то есть необходимое количество движущихся зарядов, удается получить при небольших усиливаемых напряжениях.

Как видите, транзистор никакого мощного усиленного сигнала не дает. Если уж говорить об

электрической мощности, то она выделяется на сопротивлении нагрузки лишь только потому, что это сопротивление подключено к батарее с достаточно большой э.д.с. Но если бы мы просто подключили нагрузку к батарее, то в цепи протекал бы обычный постоянный ток. Только потому, что вместе с нагрузкой мы подключили к батарее транзистор, у нас появилась возможность управлять током, который проходит через нагрузку, и, изменяя его по «образцу» — входному сигналу, — получать «мощную копию» этого сигнала. Используя транзисторы, можно построить сравнительно простые детекторные приемники (лист 102), где транзистор не только усиливает, но и детектирует сигнал. Число витков той части контурной катушки  $L_k$ , которая подключается к триоде, так же! как и число витков катушки связи  $L_{св}$ , обычно не превышает 10–20.

Транзистор позволяет управлять током самым простым путем — с его помощью мы просто изменяем количество зарядов, которые попадают с базы в коллекторную цепь и могут участвовать в создании тока через нагрузку. Управлять этим током можно и иначе, например так, как это делается в электронной лампе. И ОПЯТЬ ДВИЖУЩИЕСЯ ЗАРЯДЫ...

В электронной лампе, так же как и в полупроводниковом триоде, эффект усиления получается благодаря тому, что слабый электрический сигнал управляет протекающим через лампу током (движением зарядов), а этот ток может развивать значительную мощность за счет энергии внешней батареи.

В отличие от полупроводникового триода, основные процессы в лампе происходят не в микроскопических кристаллах германия или кремния, а в вакууме — в стеклянном (а иногда металлическом или металлокерамическом) баллоне, из которого откачан воздух.

В полупроводниковом триоде и, в частности, в его эмиттере всегда имеются свободные электрические заряды, то есть заряды, которые могут перемещаться под действием какого-либо напряжения, образуя эмиттерный или коллекторный ток.

В вакууме свободных зарядов практически нет, и для их получения в лампу вводится специальная деталь — катод. Во многих лампах катод представляет собой металлическую нить (есть и другие типы катодов), по которой пропускают электрический ток (ток накала), подключив к ней небольшую батарею (батарея накала Бн). Под действием тока катод, подобно спирали электроплитки, нагревается до высокой температуры — от  $800^\circ$  до  $2500^\circ$ , в зависимости от типа катода. Как известно, в металле всегда имеется большое количество свободных электронов (это и отличает проводники от изоляторов), которые беспорядочно двигаются в межатомном пространстве. Чем выше температура металла, тем интенсивнее это беспорядочное движение. При высокой температуре катода многие из электронов выходят за его пределы, и в вакууме вблизи катода появляются свободные электрические заряды (рис. 60).

Рис. 60. Чтобы в лампе появились свободные электроны, в ее баллон вводят специальный электрод — катод — и накаливают его до высокой температуры. Для нагревания катода используют электрический ток.

Теперь заставим свободные электроны, вылетающие из разогретого катода, упорядоченно двигаться в каком-нибудь определенном направлении, то есть создадим в лампе электрический ток. Для этого поместим в баллон еще один электрод — плоскую металлическую пластинку, расположенную недалеко от катода. Такой электрод получил название «анод», а двухэлектродная лампа, так же как и полупроводниковый прибор с двумя зонами —  $n$  и  $p$ , называется диодом.

Если включить между анодом и катодом батарею (анодная батарея Ба), причем «плюс» ее соединить с анодом, то под действием положительного напряжения на аноде к нему будут двигаться вылетевшие из катода электроны, а на смену им в катод будут поступать

электроны из батареи Ба (рис. 61).

Рис. 61. Если ввести в баллон второй электрод — анод — и подать на него положительное (относительно катода) напряжение, то вылетевшие из катода электроны будут двигаться от катода к аноду, и в лампе появится анодный ток. Условное направление тока — от анода к катоду. Именно от анода к катоду (от плюса к минусу) двигались бы попавшие внутрь баллона положительные заряды.

Таким образом, внутри баллона и во внешней цепи появится ток, получивший название анодного тока. Если сменить полярность анодной батареи, — ее минус подключить к аноду лампы, — то никакого тока в лампе не будет, так как отрицательное напряжение на аноде уже не будет притягивать электроны, обладающие, как известно, отрицательным зарядом (рис. 62).

Рис. 62. Если подать на анод отрицательное (относительно катода) напряжение, то тока в лампе не будет. Электронная лампа, как и полупроводниковый диод, проводит ток только в одну сторону.

Анодный ток в лампе играет ту же роль, что и коллекторный ток в транзисторе: используя энергию батареи, он создает «мощную копию» усиливаемого сигнала. Однако управление током в лампе осуществляется не так, как в полупроводниковом триоде.

В полупроводниковом триоде коллекторный ток изменяется потому, что под действием усиливаемого сигнала меняется количество зарядов, которые выходят из эмиттера и через базу попадают в коллекторную цепь. Если бы мы хотели таким же образом управлять анодным током в лампе, то нам пришлось бы пропустить усиливаемый ток через катод с тем, чтобы под действием этого тока изменялась температура катода, а следовательно, и количество вылетающих из него электронов. Конечно, такая система практически непригодна хотя бы потому, что усиливаемый сигнал обычно слишком слаб и не может нагреть катод. Кроме того, из-за тепловой инерции катода (на нагревание и остывание катода нужно некоторое время) изменение его температуры не будет поспевать за изменениями усиливаемого сигнала.

Для управления анодным током в лампу вводится третий электрод — металлическая сетка, которую располагают очень близко к катоду (рис. 63).

Рис. 63. Для управления анодным током в лампу вводится третий электрод — управляющая сетка.

Поэтому, если между сеткой и катодом действует даже небольшое напряжение, то оно очень сильно влияет на величину анодного тока: Во многих лампах достаточно подать на сетку отрицательное напряжение 5—10 в, которое отталкивает электроны обратно к катоду, чтобы анодный ток прекратился, несмотря на притягивающее действие довольно большого (обычно 50—250 в) положительного напряжения на аноде[10]. В этом случае говорят, что лампа заперта сеточным напряжением.

Чем меньше отрицательное напряжение на сетке, тем слабее она отталкивает электроны, тем большее их количество, проскочив сетку, направляется к аноду, тем, следовательно, больше анодный ток. При положительных напряжениях на сетке она не только не мешает, но даже помогает движению электронов к аноду, увеличивая тем самым анодный ток.

Важно отметить, что при положительных напряжениях на сетке на нее будет попадать часть электронов, которые, пройдя внешнюю сеточную цепь, вернуться на катод (лист 105).

Иными словами, при положительных напряжениях на сетке в лампе возникает сеточный ток. График, показывающий, как изменяется анодный и сеточный ток при изменении напряжения

на сетке, называется анодно-сеточной характеристикой лампы, а график, в котором имеется несколько кривых, снятых при различных анодных напряжениях, называется семейством характеристик (рис. 65, лист 112).

Рис. 65. Управляющая сетка расположена близко к катоду, и напряжение на ней сильно влияет на величину анодного тока. При положительных напряжениях на сетке на нее попадает часть электронов — появляется сеточный ток. (Для упрощения всех последующих рисунков батарея накала не рисуется.)

Если между сеткой и катодом будет действовать переменное напряжение усиливаемого сигнала, то оно вызовет соответствующие изменения анодного тока. Но изменяющийся анодный ток пока еще никакой пользы не приносит, так же как и не выполняет полезной работы двигающийся по шоссе пустой грузовик. Для того чтобы мощный двигатель грузовика, непрерывно сжигающий бензин, выполнял какую-то полезную работу, нужно кузов этого автомобиля заполнить тяжелыми грузами.

Для того же, чтобы использовать энергию изменяющегося анодного тока электронной лампы, то есть выделить «мощную копию» усиливаемого сигнала, в анодную цепь лампы, так же как и в коллекторную цепь транзистора, включают нагрузку (рис. 64).

Рис. 64. Усиливаемый сигнал подводится к управляющей сетке лампы, точнее, между сеткой и катодом, а нагрузка обычно включается в анодную цепь (анодная нагрузка).

Нагрузка может представлять собой обычное сопротивление, громкоговоритель, колебательный контур, телефон и т. п. (лист 131). Проходя по нагрузке, анодный ток выделит на ней часть своей энергии. Эта энергия будет либо с помощью громкоговорителя или телефона сразу же преобразована в звуковые колебания, либо будет подвергаться дальнейшему усилению с помощью последующих ламп. Как уже говорилось, когда один каскад не дает достаточного усиления, то входной сигнал, несколько усиленный первым каскадом, передается на второй, где он усиливается еще больше, со второго каскада усиливаемый сигнал поступает на третий, и т. д.

В зависимости от назначения усилительного каскада стремятся получить либо большой переменный ток в нагрузке (для этого сопротивление нагрузки делают маленьким), либо большое переменное напряжение (для этого сопротивление нагрузки делают большим). Однако при любых соотношениях напряжения и тока в нагрузке выделяемая на ней мощность, то есть мощность усиленного сигнала, во много раз больше мощности, затраченной в сеточной цепи на управление анодным током. Попутно заметим, что сеточную цепь электронной лампы обычно называют входной цепью, а анодную — выходной.

Усилительная лампа, в которой имеется анод, катод и управляющая сетка, получила название «триод» (трехэлектродная лампа). Триод широко применяется в усилителях низкой частоты, а также в аппаратуре УКВ диапазона.

Наряду со многими достоинствами у триода есть два существенных недостатка. Первый из них состоит в том, что анод и управляющая сетка образуют конденсатор  $C_{ас}$ , емкость которого (емкость анод — сетка) обычно составляет несколько пикофард. Емкость  $C_{ас}$  называют проходной емкостью лампы, так как через нее переменный ток «пролезет» из анодной цепи в сеточную (рис. 66).

Рис. 66. Один из недостатков триода — большая емкость между сеткой и анодом (проходная емкость), из-за которой возникает обратная связь; сигнал из анодной цепи попадает в сеточную.

Иными словами, из-за емкости  $C_{ас}$  возникает обратная связь между анодом и сеткой (обратное влияние анода на сетку), которая может сильно ухудшить усилительные свойства

лампы или привести к самовозбуждению каскада. В результате самовозбуждения (с этим явлением мы подробно познакомимся немного позже) усилитель превращается в генератор и дает на выходе переменное напряжение даже при отсутствии какого-либо входного сигнала.

Второй недостаток триода связан с тем, что при работе лампы в усилительном каскаде изменяется напряжение. на ее аноде и иногда оно может очень сильно уменьшиться (лист 130). Это объясняется тем, что часть напряжения анодной батареи падает (теряется) на сопротивлении анодной нагрузки. Чем больше анодный ток, тем больше падение напряжения на нагрузке и тем меньшая часть напряжения анодной батареи будет подводиться к аноду ламп. Когда под действием усиливаемого сигнала анодный ток сильно возрастает, минимальное напряжение на аноде — Уамин может составлять всего несколько вольт. Из-за уменьшения напряжения на аноде он плохо притягивает электроны, что приводит к нежелательному уменьшению анодного тока (подробнее см. стр. 193).

Для устранения указанных недостатков между управляющей сеткой и анодом помещают еще один, четвертый по счету, электрод, так называемую экранирующую (экранирующую) сетку, которую через конденсатор Сэ соединяют с катодом. Кроме того, на экранирующую сетку подают положительное напряжение  $U_э$ , обычно составляющее 50–90 % от постоянного напряжения на аноде. Такая усилительная лампа с четырьмя электродами получила название «тетрод» (рис. 67).

Рис. 67. Экранирующая (экранная) сетка соединяется с катодом через конденсатор и поэтому предохраняет управляющую сетку от проникновения сигнала из анодной цепи. На экранирующую сетку обязательно подается положительное напряжение, которое ускоряет движение электронов к аноду и улучшает усилительные свойства лампы.

С введением экранной сетки в лампе появляется еще один «конденсатор» С<sub>аэ</sub>; его обкладки — это экранная сетка и анод. Теперь переменный ток, который раньше шел через емкость С<sub>ас</sub> и был «виновником» обратной связи, почти не попадет в сеточную цепь: он пройдет по пути наименьшего сопротивления — через С<sub>аэ</sub>, и С<sub>э</sub>, а это равносильно уменьшению проходной емкости. Так устраняется первый недостаток триода.

Положительное напряжение экранной сетки ускоряет движение электронов, и, «проскочив» эту сетку, они движутся к аноду даже тогда, когда напряжение на нем сильно уменьшается. Так устраняется второй недостаток триода. Следует заметить, что некоторая часть электронов попадает на экранную сетку, в результате чего в ее цепи возникает так называемый экранный ток  $I_э$ , который обычно во много раз меньше анодного тока.

Несмотря на то что тетроды обладают хорошими усилительными свойствами, они не получили широкого распространения из-за одного очень неприятного явления — динатронного эффекта (рис. 68).

Рис. 68. Но и у тетрода есть недостаток: в моменты, когда мало напряжение на аноде, выбитые из него вторичные электроны устремляются к экранной сетке. Из-за этого резко уменьшается анодный ток и возрастает экранный (динатронный эффект).

Сущность этого явления состоит в том, что электроны, летящие к аноду, ударившись в него, выбивают из металла другие, так называемые вторичные электроны. В те моменты, когда напряжение на аноде мало, вторичные электроны, вылетев из анода, сразу же попадают «под влияние» положительного напряжения на экранной сетке и быстро двигаются к ней. В результате этого возрастает экранный и уменьшается анодный ток лампы, что нарушает нормальную работу каскада.

Для борьбы с динатронным эффектом рядом с анодом располагают еще один, по счету пятый, электрод — так называемую пентодную (антидинатронную) сетку, и, таким образом, получают пятиэлектродную лампу — пентод (рис. 69).

Рис. 69. Для борьбы с динатронным эффектом в лампу вводится еще одна — пентодная сетка, которая соединена с катодом. Благодаря этому на пентодной сетке действует «минус» относительно анода, и сетка отталкивает вторичные электроны обратно к аноду.

При монтаже приемника или усилителя пентодную сетку всегда соединяют с катодом лампы, а во многих типах ламп такое соединение осуществляется внутри баллона. Благодаря этому на пентодной сетке действует напряжение, отрицательное относительно анода: если на аноде «плюс» относительно катода, то, значит, на катоде, а следовательно, и на пентодной сетке — «минус» относительно анода. Это означает, что пентодная сетка отталкивает обратно к аноду вторичные электроны и препятствует возникновению динатронного эффекта.

Существует и другой путь борьбы с динатронным эффектом. Определенным образом расположив сетки тетрода и установив вблизи анода металлические щитки (лучеобразующие пластины), можно добиться того, что электроны будут двигаться к аноду не «широким фронтом», а узкими пучками, лучами. Благодаря высокой концентрации электронов в этих лучах они как бы представляют собой проводники, идущие от катода. Эти «проводники», обладая отрицательным зарядом относительно анода, отталкивают к нему вторичные электроны. Лампы, устроенные подобным образом, называются лучевыми. Из них наиболее широкое распространение получил лучевой тетрод (рис. 70).

Рис. 70. Другой метод борьбы с динатронным эффектом — создание узких пучков (лучей) электронов, которые и будут возвращать на анод вторичные электроны.

Кроме рассмотренных основных типов усилительных ламп, имеются еще лампы специального назначения, среди которых наиболее широко применяется гептод (семиэлектродная лампа) (рис. 71).

Рис. 71. В гептоде имеются две соединенные между собой экранные сетки и две отдельные управляющие сетки.

Это название происходит от слова «гепто» — «семь». В гептоде есть анод, катод, антидинатронная сетка, две управляющие и две экранные сетки — итого семь электродов. Наличие двух управляющих сеток позволяет управлять анодным током одновременно двумя напряжениями — такая необходимость встречается в супергетеродинном приемнике. Вторая экранная сетка расположена между управляющими сетками и ослабляет их взаимное влияние. Экранные сетки внутри баллона соединены между собой и имеют общий вывод.

Широкое применение находят также и комбинированные лампы, где в одном баллоне размещаются две, три, а иногда и четыре различные лампы. Среди комбинированных ламп встречаются двойные триоды, триод-пентоды, триод-гептоды, двойные диоды, диод-пентоды и т. д. (листы 103, 104). **ЗАГЛЯНЕМ ВНУТРЬ ЛАМПЫ**

По своему устройству современная лампа совсем не похожа на наши упрощенные рисунки. Прежде всего, катод, как правило, расположен вертикально, а сетки и анод имеют форму цилиндров (иногда сильно сплюснутых), окружающих катод. Да и сами сетки — это совсем не сетки, а спирали, каждая из которых навита на двух металлических стойках — траверсах (рис. 72, лист 109).

Рис. 72. Все электроды лампы соединены с ножками цоколя, которые вставляются в гнезда ламповой панели. Через эти гнезда и ножки цоколя к электродам подключаются различные элементы схемы, подводится питающее напряжение, снимается усиливаемый сигнал.

Анод, так же как и сетки, укреплен на двух траверсах. В первых лампах (усилительная лампа изобретена около пятидесяти лет назад) применялись настоящие сетки, сплетенные из тонкой проволоки. Потом выяснилось, что при массовом производстве ламп намного удобнее

применять спирали, навитые на траверсы, и что они так же хорошо управляют анодным током, как и настоящие сетки. Такие спирали начали применять почти во всех усилительных лампах, но по привычке продолжали называть их сетками. Это название сохранилось и по сей день.

Траверсы всех электродов сверху и снизу скреплены с помощью небольших дисков из слюды. Вся эта конструкция обычно закрепляется на стеклянном дне лампы, сквозь которое из баллона проходят выводы электродов. В некоторых типах стеклянных ламп к нижней части баллона специальным клеем прикреплен пластмассовый цоколь с металлическими ножками, в которые впаяны выводы электродов. Ножки цоколя входят в соответствующие гнезда ламповой панели, и таким образом лампа соединяется с электрическими цепями приемника или усилителя. Правильность установки лампы обеспечивает фигурный выступ на цоколе — ключ, который попадает в специальную прорезь в ламповой панели.

В современных лампах так называемой пальчиковой серии цоколя нет, его роль выполняет стеклянное дно баллона, в котором и закрепляются тонкие контактные ножки. Среди пальчиковых ламп встречаются лампы с семью ножками (семиштырьковые) и с девятью ножками (девятыштырьковые), для которых выпускаются ламповые панельки соответственное семью или девятью гнездами (лист 109).

Из всех электродов лампы особого внимания заслуживает катод.

В лампах, питание которых осуществляется от батарей (батарейные лампы прямого накала), катод представляет собой закрепленную на изоляторах тонкую нить, по которой проходит постоянный ток накала (лист 110).

Если питание ламп осуществляется от электросети (сетевые лампы с подогревом), то для нагревания катода используется переменный ток. Пропускать переменный ток непосредственно через катод нежелательно и в ряде случаев просто недопустимо. Одна из причин этого состоит в том, что при изменениях тока накала (ток-то ведь переменный!) температура катода будет непрерывно изменяться. При этом будет меняться количество эмиттируемых, то есть вылетающих из катода, электронов, а следовательно, и анодный ток лампы. Если в анодную цепь такой лампы включить телефон или громкоговоритель, то в нем всегда будет слышен низкий тон — фон переменного тока.

В большинстве сетевых ламп катод выполняют в виде трубки диаметром 1,5–2 мм, внутрь которой вставлен подогреватель — хорошо изолированная тонкая металлическая нить или спираль. Если даже температура подогревателя и изменяется под действием переменного тока, то температура катода практически остается постоянной из-за его большой тепловой инерции. Подогреватель обычно называют нитью накала лампы. Нить накала не считают отдельным электродом, так как она выполняет лишь вспомогательные функции.

Во всех современных лампах катоды активируют — покрывают их тончайшим слоем (по внешнему виду этот слой похож на белое матовое покрытие) специальных веществ, облегчающих выход электронов из металла. Через некоторое время, для большинства ламп через несколько тысяч часов непрерывной работы, активный слой утрачивает свои свойства, выход электронов из катода затрудняется, а лампа практически выходит из строя — теряет эмиссию.

Для накаливания катода используется небольшое напряжение — от долей вольта до нескольких вольт. Наиболее широко распространены батарейные лампы с напряжением накала 1,2 в и сетевые с напряжением накала 6,3 в. Если превысить допустимое напряжение накала хотя бы на 10–15 %, то активный слой может разрушиться или даже может перегореть нить накала (в батарейных лампах — катод). При понижении напряжения накала резко уменьшается число вылетающих из катода электронов, и при этом ухудшаются усилительные

свойства лампы. Правда, многие лампы сохраняют работоспособность и при напряжении накала на 20–30 % меньше нормального.

Некоторое представление о типе электронной лампы дает ее наименование (листы 106, 107, 108).

Первая цифра в наименовании отечественных ламп приближенно указывает напряжение накала. Так например, у ламп, название которых начинается с цифры «6» (6П1П, 6Ж22, 6Ц5С, 6К1П и др.), напряжение накала составляет 6,3 в. Первая цифра «1» говорит о том, что напряжение накала — 1,2 в и т. д.

После первой цифры в наименовании лампы стоит буква, которая характеризует тип лампы. Буквой «Д» обозначаются диоды, «Ц» кенотроны — диоды и двойные диоды (два диода в одном баллоне), специально предназначенные для выпрямителей, «С» — триоды, «Н» — двойные триоды, «П» — так называемые выходные лампы, мощные пентоды и лучевые тетроды, «К» и «Ж» — пентоды, применяемые в усилителях высокой, а иногда и низкой частоты, «А» — гептоды, «И» — гептод-триоды, «Е» — оптические индикаторы настройки, и т. д. Совершенно очевидно, что буква характеризует тип лампы лишь в общем. Обозначение конкретного типа лампы — это цифра, которая следует сразу же после буквы. Так, например, обозначения 6Н8С, 6Н9С, 6Н2П соответствуют различным типам двойных триодов, 6Ж1П, 6Ж3П, 6Ж7 — различным типам пентодов, и т. д. Последняя буква в названии лампы характеризует ее конструктивное выполнение. Буква «П» означает «пальчиковая», «С» — «стеклянная», «А» и «Б» — «сверхминиатюрная», «Ж» — типа «желудь», и т. д. В настоящее время большинство ламп, выпускаемых для приемников и усилителей, — это пальчиковые лампы.

Для каждого типа электронных ламп в справочных таблицах (листы 184–219) приводятся основные параметры — данные, характеризующие усилительные свойства лампы, а также ее типовые рекомендуемые режимы. К рекомендуемым режимам относится напряжение накала  $U_n$  и соответствующий этому напряжению накальный ток  $I_n$ . При одном и том же напряжении  $U_n$  накальная цепь лампы потребляет тем большую мощность, чем больше у нее ток накала ( $P_n = U_n \cdot I_n$ ). Если вы просмотрите справочные таблицы, то увидите, что так называемые выходные триоды, лучевые тетроды и пентоды, то есть лампы, которые должны развивать сравнительно большую мощность, потребляют большой накальный ток  $I_n$ .

На листах 184–219 указываются также рекомендуемые постоянные напряжения на аноде  $U_a$  и экранной сетке  $U_э$  и соответствующие этим напряжениям токи  $I_a$  и  $I_э$ . Здесь нужно сразу же отметить, что очень часто конструкторы не придерживаются рекомендуемых величин  $U_a$  и  $U_э$ . Так, например, для большинства сетевых (подогревных) ламп рекомендуется анодное напряжение 250 в, а их почти всегда используют при более низком напряжении — вплоть до 150–100 в. При этом усилительные свойства ламп несколько ухудшаются, но с этим вполне можно мириться. При уменьшении напряжения на аноде  $U_a$  приходится пропорционально уменьшать и экранное напряжение  $U_э$ . Одновременное этим уменьшаются и токи  $I_a$  и  $I_э$ .

Для многих ламп в таблицах указывается и рекомендуемое постоянное напряжение на управляющей сетке, но об этой величине следует поговорить особо, и мы это сделаем в следующей главе.

Одним из основных параметров усилительной лампы является ее крутизна, которая показывает, насколько сильно напряжение на управляющей сетке влияет на величину анодного тока (листы 112, 113).

Крутизна обозначается буквой  $S$  и измеряется в миллиамперах на вольт (ма/в). Так, например, если  $S = 2$  ма/в, то это значит, что при изменении управляющего напряжения (напряжение между сеткой и катодом) на 1 в анодный ток изменится на 2 ма. Для



большинства ламп крутизна лежит в пределах от десятых долей — ма/в до нескольких — ма/в. Совершенно очевидно, что, чем больше крутизна лампы, тем сильнее управляющее напряжение влияет на анодный ток, тем, следовательно, лучше усилительные свойства лампы при прочих равных условиях.

Однако крутизна не полностью характеризует лампу: имеются еще два очень важных параметра — коэффициент усиления  $\mu$  и внутреннее сопротивление  $R_i$ . Коэффициент  $\mu$  показывает, какое максимальное усиление можно получить от лампы, то есть во сколько раз переменное напряжение на выходе каскада может быть больше, чем усиливаемое напряжение. Практически лампа может обеспечить меньшее усиление, чем об этом говорит коэффициент  $\mu$ .

У многих ламп коэффициент усиления очень велик и у некоторых пентодов достигает нескольких тысяч. Имеются лампы и с очень небольшим  $\mu$  (десятки и даже единицы). Но низкий коэффициент усиления не всегда следует относить к недостаткам лампы. Так, например, от выходных ламп не требуется большого  $\mu$ . Основное, что требуется от этих ламп, — это возможность получить на выходе сигнал большой мощности (несколько ватт), даже если для этого придется подать на вход лампы весьма большое переменное напряжение (несколько вольт).

Прежде чем говорить о третьем основном параметре лампы — ее внутреннем сопротивлении  $R_i$  вспомним, что если изменить напряжение на аноде лампы, то изменится ее анодный ток, то есть произойдет то же самое, что и в обычном сопротивлении: если изменить напряжение, которое подводится к какому-нибудь сопротивлению, то изменится и протекающий по нему ток. Это и позволяет рассматривать лампу как своего рода сопротивление, величину которого  $R_i$  можно подсчитать по одной из формул закона Ома ( $R = U/I$ ). Величина  $R_i$  зависит от того, насколько сильно меняется [11] анодный ток при изменении напряжения на аноде, а это, в свою очередь, зависит от типа лампы (триод, тетрод, пентод) и от ее устройства. У большинства пентодов внутреннее сопротивление очень велико и достигает нескольких сот килоом, а иногда и нескольких мегом. У триодов и выходных ламп  $R_i$  намного меньше — оно не превышает нескольких десятков килоом, а иногда бывает и меньше одного килоома.

Величину внутреннего сопротивления приходится учитывать при выборе ламп для того или иного усилительного каскада. Так, например, если к аноду лампы подключен контур, то  $R_i$  этой лампы должно быть весьма большим — малое внутреннее сопротивление будет шунтировать контур, снижая его добротность  $Q$  (рис. 50, 51). Для выходных ламп величину  $R_i$  указывают не всегда, но обязательно приводят величину так называемого оптимального сопротивления нагрузки ( $R_a$  или  $R_{опт}$ ), которой мы встретимся позже. В наших таблицах обе величины даны в килоомах. Данные, приведенные на листах 184–219, позволяют судить об усилительных свойствах той или иной лампы, а также/в. случае необходимости решать вопрос о замене одного типа ламп другим. ЛАМПА ТРЕБУЕТ ПИТАНИЯ

Для питания усилительных ламп достаточно иметь два основных источника тока: источник низкого (1...12 в) напряжения для цепей накала и источник высокого (30...300 в) постоянного напряжения для анодных цепей.

Напряжение на экранные сетки, как правило, подают от источника анодного напряжения с помощью делителей или гасящих сопротивлений (рис. 73, лист 111).

Рис. 73. Для питания лампы достаточно иметь два напряжения: низкое (накальное) и высокое (анодное). Напряжение на экранную сетку обычно подается через гасящее сопротивление.

Так, например, если у нас имеется источник, который дает постоянное напряжение 100 в, поступающее на анод лампы, то от этого же источника можно получить и более низкое напряжение, например 70 в, которое необходимо подать на экранную сетку. Для этого

достаточно подвести напряжение к экранной сетке через сопротивление  $R_э$  определенной величины. Ток экранной сетки  $I_э$  (как уже говорилось, экранный ток появляется из-за того, что часть летящих к аноду электронов попадает на экранную сетку), проходя по этому сопротивлению, будет создавать на нем падение напряжения, равное  $I_э \cdot R_э$  (лист 111). Поэтому к экранной сетке будет подводиться лишь часть напряжения, которое дает источник. Остальная часть напряжения будет теряться («гаситься») на сопротивлении  $R_э$ . Совершенно очевидно, что, чем меньше должно быть напряжение на экранной сетке, тем большую часть общего напряжения нужно погасить, тем, следовательно, больше должно быть сопротивление  $R_э$ . Необходимая величина  $R_э$  определяется также и током  $I_э$ , величину которого можно найти среди основных параметров ламп. При замене одного типа ламп другим сопротивление нужно подбирать заново: чем больше будет экранный ток ламп, тем меньше нужно будет взять  $R_э$ , чтобы напряжение на экранной сетке не изменилось. Мощность, которую должно рассеивать сопротивление, легко подсчитать по обычной формуле. Совершенно ясно, что если под руками нет сопротивления нужной мощности, то можно поставить другое сопротивление, рассчитанное на большую мощность (например, вместо сопротивления на 0,25 Вт можно ставить по 0,5 Вт и более).

Цепь экранной сетки лампы можно рассматривать как своего рода делитель напряжения, в который входит сопротивление участка экранная сетка — катод (подобие внутреннего сопротивления лампы) и гасящее сопротивление  $R_э$ . Чем больше величина  $R_э$  тем меньшая часть общего напряжения будет действовать на участке экранная сетка — катод. Питание экранной сетки можно осуществлять и от делителя, составленного из обычных сопротивлений. Однако такой способ применяется сравнительно редко, так как приводит к дополнительным потерям энергии в сопротивлениях делителя.

Еще раз напомним, что экранную сетку всегда необходимо соединять с катодом через конденсатор  $C_э$ , иначе по сопротивлению  $R_э$  будет проходить переменная составляющая экранного тока, и напряжение на экранной сетке будет меняться. Кроме того, если экранная сетка не соединена с катодом (для переменного тока), то она теряет всякий смысл как защита сеточной цепи от анодной.

В батарейной аппаратуре питание ламп осуществляется от двух отдельных батарей — накальной (обычно 1,5 В) и анодной (обычно 60–70 В). В аппаратуре с питанием от сети переменного тока, для того чтобы получить необходимые для лампы напряжения, приходится применять трансформатор (рис. 74, 75) и выпрямитель (рис. 76).

Рис. 74. Под действием переменного напряжения, подведенного к первичной обмотке трансформатора, в ней появляется переменный ток, который создает переменное магнитное поле в стальном сердечнике. В результате изменений магнитного поля наводится переменное напряжение на вторичной обмотке.

Рис. 75. Напряжение, наведенное во вторичной обмотке, зависит от коэффициента трансформации, то есть от соотношения числа витков первичной и вторичной обмоток. Чем больше витков во вторичной обмотке, тем больше и напряжения на ней.

Рис. 76. В сетевой радиоаппаратуре на накал подается переменное напряжение, пониженное с помощью трансформатора до необходимой величины (например, 6,3 В). Питание анодно-экранных цепей тоже осуществляется от сети, но через выпрямитель, преобразующий переменное напряжение в постоянное.

Трансформатор понижает напряжение сети до величины, которая необходима для питания цепей накала (обычно 6,3 В). Нити накала сетевых ламп питаются непосредственно переменным током, так как катод их снабжен подогревателем (лист 110). Имеющийся в блоке питания выпрямитель преобразует переменное напряжение сети в постоянное напряжение, необходимое для питания анодных и экранных цепей, и поэтому такой выпрямитель

называют анодным. Переменное напряжение на анодный выпрямитель подается со специальной повышающей обмотки трансформатора, и это позволяет сохранять неизменным анодное напряжение (обычно оно составляет 150–250 в) при питании аппаратуры от сети с различным напряжением 110, 127 или 220 в. В приемнике или усилителе имеется два, а иногда и три трансформатора различного назначения, и тот из них, который используется для получения необходимых питающих напряжений, называют сетевым или силовым трансформатором.

Мы уже знаем, что если расположить рядом две катушки и по одной из них пропустить переменный ток, то возникающее вокруг этой катушки переменное магнитное поле наведет переменный ток во второй катушке. При этом напряжение, которое появится на концах второй катушки (обмотки), будет зависеть от того, насколько сильно обе катушки связаны общим магнитным полем, и от соотношения числа витков первой и второй обмотки: чем больше витков во второй (вторичной) обмотке, тем больше будет напряжение на ней. Так, например, если в первой (первичной) обмотке имеется 100, а во второй 200 витков и если к первичной обмотке подводится напряжение 1 в, то на вторичной обмотке появится напряжение 2 в. Если уменьшить число витков вторичной обмотки в четыре раза (50 витков), то в четыре раза уменьшится действующее на ней напряжение (0,5 в). Цифра, показывающая, во сколько раз напряжение на вторичной обмотке больше, чем на первичной, называется коэффициентом трансформации  $n$  (лист 114). Коэффициент трансформации численно равен числу витков вторичной обмотки  $w_2$ , деленному на число витков первичной обмотки  $w_1$ .

Если  $w_2$  меньше, чем  $w_1$ , то коэффициент трансформации меньше единицы и напряжение понижается (понижающий трансформатор). Иногда, правда, для удобства расчетов, в понижающем трансформаторе коэффициентом трансформации считают отношение к  $w_1$  к  $w_2$ , и величина  $n$  в этом случае получается больше единицы. Такое «переворачивание» формулы обычно оговаривают специальным примечанием.

Следует заметить, что никакой разницы между понижающим и повышающим трансформатором нет: все зависит от того, к какой обмотке подводится напряжение, то есть от того, какую обмотку мы считаем первичной. Любой повышающий трансформатор станет понижающим, если подвести напряжение к его вторичной обмотке. Точно так же можно понижающий трансформатор включить как повышающий.

Если рядом с первичной обмоткой, к которой подводится переменное напряжение, расположить несколько обмоток с разным числом витков, то с них можно получить несколько различных напряжений. Этот принцип и используется в трансформаторах и, в частности, в силовом трансформаторе для получения нужных напряжений: высокого напряжения для анодного выпрямителя и низкого напряжения для питания нитей накала ламп. В соответствии с этим в силовом трансформаторе имеются сетевые обмотки, к которым подводится напряжение от сети 127 или 220 в, повышающая обмотка (150–300 в) и накальная обмотка (6,3 в). В большинстве силовых трансформаторов имеется еще и вторая накальная обмотка (6,3 или 5 в) для специальной выпрямительной лампы — кенотрона (лист 116).

Для того чтобы усилить магнитное поле, связывающее обмотки трансформатора, их располагают на стальном сердечнике, который собирают «в перекрышку» (лист 115) из пластин толщиной 0,3–0,5 мм, имеющих форму буквы «Ш» (Ш-образные пластины).

В обозначении типа пластин после букв «Ш» или «УШ» (уширенные пластины) стоит цифра, показывающая ширину среднего стержня этой пластины. В описаниях аппаратуры часто указывают сечение сердечника, которое представляет собой произведение ширины среднего стержня  $l$  на толщину набора  $v$  (лист 115).

Обмотки трансформатора делают из медного провода марки ПЭ, ПЭЛ или ПЭВ. Буквы «ПЭ» говорят о том, что провод покрыт эмалевой изоляцией. Буква «Л» означает, что изоляция

лакостойкая, а буква «В» — влагостойкая (лист 79). В подавляющем большинстве случаев обмоточные провода различных марок могут заменять друг друга.

Как уже отмечалось, в название провода входит также цифра, указывающая диаметр этого провода. Так, например, название «ПЭ-0,12» относится к эмалированному проводу диаметром 0,12 мм. Диаметр указывают без учета изоляции, но эмалевая изоляция обычно настолько тонка (сотые и тысячные доли миллиметра), что ее можно и не учитывать. Необходимый диаметр провода определяется величиной тока, который проходит по обмотке: чем больше ток, тем более толстым должен быть провод. Все обмотки обычно располагают на каркасе из картона или другого изоляционного материала. При намотке провод укладывают тонкими слоями, между которыми делают прокладки из бумаги.

Если вы будете делать трансформатор сами, то особенно внимательно следите за тем, чтобы крайние витки не проваливались и не соединялись с крайними витками других слоев. Нельзя допускать повреждения эмалевой изоляции, потому что любое замыкание витков, например замыкание двух соседних витков, приводит к перегреву трансформатора и выходу его из строя.

Число витков отдельных обмоток трансформатора определяется потребляемой от него мощностью, сечением сердечника и сортом стали. Однако при любом сердечнике соотношение между числом витков отдельных обмоток определяется так же, как и необходимым коэффициентом трансформации, то есть тем, во сколько раз нужно увеличить или уменьшить напряжение.

Так, если сетевая обмотка, рассчитанная на 127 в, имеет 1270 витков (10 витков на каждый вольт), то для включения трансформатора в сеть 220 в к этой обмотке нужно добавить еще 930 витков ( $1270 + 930 = 2200$  витков). Если к выпрямителю нужно подвести напряжение 250 в, то в рассматриваемом трансформаторе повышающая обмотка должна иметь 2500 витков, а накальная обмотка (напряжение 6,3 в) — 63 витка. При расчете силового трансформатора определяют число витков, которое приходится на один вольт  $w'$ , а затем, умножая это число на напряжение, которое нужно подвести к какой-нибудь обмотке (или получить с нее), определяют необходимое число витков всей обмотки. В нашем примере  $w' = 10$ . Это следует из первых же приведенных цифр: 127 в и 1270 витков, то есть на каждый вольт приходится 10 витков. Исходя из этой цифры, мы и получили данные всех обмоток, приведенные выше. При переделке старого трансформатора можно определить  $w'$ , измерив напряжение на какой-нибудь обмотке, а затем подсчитав число ее витков. Иногда в подобных случаях целесообразно временно намотать специальную обмотку, содержащую 15–20 витков любого провода.

В фабричных приемниках очень часто применяют трансформаторы с комбинированной сетевой обмоткой (лист 117). Здесь при напряжениях сети 110 и 127 в секции первичной обмотки включаются параллельно, и по каждой из них проходит лишь половина общего тока. Это позволяет применять провод более тонкий, чем в простейшей схеме с отводами (лист 116). Для массового производства такая экономия имеет огромное значение.

На листах 118, 119 и 120 приведен порядок упрощенного расчета трансформатора.

Исходные данные, которые нужны для расчета, — это накальные, анодные и экранные токи и напряжения примененных ламп. Все эти данные можно взять из таблицы параметров ламп. Если в результате расчета выяснится, что все обмотки не могут уместиться в окне сердечника, то следует увеличить сечение сердечника  $S$  и вновь произвести расчет. В результате увеличения  $S$  уменьшится число витков на 1 в ( $w'$ ), а следовательно, общее число витков во всех обмотках.

Для того чтобы от сети питать анодные цепи ламп, переменное напряжение нужно

выпрямить, то есть превратить его в постоянное напряжение. С помощью вентиля (рис. 77) напряжение превращают в пульсирующее, а затем из пульсирующего напряжения с помощью фильтра получают постоянное напряжение.

Рис. 77. Возможность использования лампы в качестве вентиля основана на том, что она пропускает ток только тогда, когда на аноде действует положительное напряжение. Если подать на анод лампы переменное напряжение, то в ее цепи пойдет пульсирующий ток, который будет создавать на сопротивлении нагрузки пульсирующее падение напряжения (пульсирующее напряжение).

В качестве вентиля может быть использован плоскостной полупроводниковый диод, селеновый столбик или двухэлектродная лампа, предназначенная для работы в выпрямителе. Такая лампа называется кенотрон.

Мы уже знакомы с полупроводниковым диодом, с его способностью пропускать ток только в одну сторону и таким образом преобразовывать переменный ток в пульсирующий. Для работы в выпрямителях выпускаются специальные, так называемые плоскостные диоды (лист 121). Точечные диоды, которые мы использовали для детектирования, в анодном выпрямителе работать не могут. Прежде всего это связано с очень маленькой площадью рп-перехода, который образуется точечными контактами. Из-за этого точечный диод может безболезненно выпрямлять очень маленький ток, обычно 5—20 ма. При больших токах диод начинает нагреваться и в результате этого выходит из строя.

Для распространенных типов плоскостных диодов допустимый выпрямленный ток  $I_{\text{вып}}$  составляет 100—300 ма (лист 121), и этого более чем достаточно для питания многолампового радиоприемника.

Наряду с допустимой величиной выпрямленного тока важной характеристикой полупроводникового диода (да и любого другого вентиля!) является допустимое обратное напряжение  $U_{\text{обр}}$ , которое ограничивает величину выпрямленного напряжения  $U_{\text{в}}$ . Обычно  $U_{\text{в}}$  должно быть в полтора — три раза меньше, чем допустимое обратное напряжение  $U_{\text{обр}}$  примененного диода. В противном случае может произойти электрический пробой диода, рп-переход будет разрушен, и диод будет одинаково хорошо пропускать ток в обоих направлениях, то есть потеряет свойства вентиля. В следующем разделе этой главы, а также в главе VIII будет рассказано о практических схемах выпрямителей на полупроводниковых диодах.

Селеновый вентиль — это тоже своего рода палу проводниковый диод, хорошо пропускающий ток только в одну сторону. Промышленностью выпускается много типов селеновых вентилях, и некоторые из них могут быть использованы в нашем приемнике.

Что касается электронной лампы — кенотрона, то возможность ее использования в качестве вентиля основана на том, что электроны будут двигаться к аноду только в том случае, когда на него подано положительное (относительно катода) напряжение. Поэтому если между анодом и катодом лампы будет действовать переменное напряжение, то ток через лампу будет протекать только в те полупериоды, когда на аноде будет «плюс» относительно катода (рис. 77). Однако с помощью одного лишь вентиля питать анодные цепи ламп нельзя, так как из-за пульсации анодного напряжения в громкоговорителе будет слышен сильный фон переменного тока (рис. 78).

Рис. 78. Преобразование переменного напряжения в постоянное производится в два этапа. Сначала с помощью вентиля получают пульсирующий ток. Если его подвести к нагрузке выпрямителя (анодно-экранные цепи ламп), то на ней будет действовать пульсирующее напряжение.

Для борьбы с этим явлением в анодный выпрямитель обязательно вводится фильтр. Прежде

чем рассматривать работу фильтра, необходимо сказать несколько слов о том, что такое пульсирующий ток, который мы получаем с помощью вентиля. Пульсирующий ток может появиться в цепи, в которой одновременно работают два генератора и один из них дает постоянное напряжение (например, батарея), а другой — переменное (рис. 79).

Рис. 79. Пустив постоянный и переменный ток в общую цепь, получим в ней пульсирующий ток. Можно решить и обратную задачу — с помощью фильтров разделить пульсирующий ток на постоянную и переменную составляющие.

Общий ток в такой цепи можно рассматривать как сумму постоянной и переменной составляющей, то есть постоянного и переменного токов, каждый из которых создается соответствующим генератором. Если поочередно выключать каждый из генераторов, то в общей цепи будет протекать то постоянный, то переменный ток. И лишь при одновременной работе генераторов, то есть тогда, когда постоянный ток будет суммироваться с переменным, ток в общей цепи будет пульсирующим. Постоянную и переменную составляющую можно обнаружить в любом пульсирующем токе, независимо от того, каким путем этот ток был получен.

В случае необходимости можно разделить постоянную и переменную составляющие пульсирующего тока с помощью специальных электрических цепей получивших название фильтров (рис. 79, лист 124).

Простейший фильтр может состоять из конденсаторов  $C_f$  и сопротивления  $R_f$ , соединенных параллельно. Конденсатор, как известно, постоянного тока не пропускает, и поэтому постоянная составляющая пульсирующего тока пойдет только через сопротивление.

Переменная составляющая может пойти как через сопротивление, так и через конденсатор, а поскольку мы хотим отделить ее от постоянной составляющей, то нужно так подобрать емкость конденсатора, чтобы его емкостное сопротивление  $x_c$  было бы во много раз меньше чем  $R_f$  (см. стр. 110). В этом случае переменная составляющая пульсирующего тока практически пройдет только через конденсатор (по пути наименьшего сопротивления). При выборе емкости конденсатора необходимо учитывать частоту переменной составляющей (рис. 80, 81).

Рис. 80. Сопротивление конденсатора и катушки, включенных в цепь переменного тока, зависит от частоты тока: чем больше частота, тем меньше емкостное сопротивление и больше индуктивное.

Рис. 81. Аналогично при увеличении емкости конденсатора его емкостное сопротивление уменьшается, а при увеличении индуктивности катушки ее индуктивное сопротивление растет.

Так, на высоких частотах малое  $x_c$  можно получить при сравнительно небольшой емкости конденсатора  $C$  (сотни, тысячи пикофарад), в то время как на низких частотах и в том числе на частоте 50 гц для получения малого  $x_c$  приходится брать конденсаторы сравнительно большой емкости (от десятков, сотен тысяч пикофарад до нескольких сот микрофарад).

Такую большую емкость легче всего получить в так называемых электролитических конденсаторах (КЭ), где для накопления зарядов на обкладках используются электрохимические процессы. По внешнему виду электролитические конденсаторы представляют собой небольшой алюминиевый цилиндр, который является выводом одной из обкладок (лист 72). На корпусе конденсатора всегда указывают его основные данные: емкость и рабочее напряжение, то есть напряжение, которое можно подвести к конденсатору, не опасаясь его пробоя. Что касается емкости электролитического конденсатора, то величина ее зависит от того, в какую цепь включен этот конденсатор. Номинальной, то есть указанной на корпусе, емкостью электролитический конденсатор будет обладать лишь в том случае,

если к нему приложить постоянное напряжение, причем обязательно «минусом» к корпусу конденсатора (лист 123). Только под действием постоянного напряжения в конденсаторе возникают те электрохимические процессы, которые позволяют получить большую емкость при сравнительно небольших габаритах. На схемах электролитические конденсаторы всегда обводят пунктирным кругом, знаками «плюс» и «минус» указывают полярность подключения к источнику постоянного напряжения, а рядом с величиной емкости приводят рабочее напряжение. Совершенно очевидно, что в случае необходимости можно использовать конденсатор с большим рабочим напряжением, чем это указано на схеме.

На заряженном электролитическом конденсаторе довольно долго сохраняется напряжение, и прежде чем делать какие-либо опыты с конденсатором, его лучше сразу же разрядить, осторожно замкнув выводы (лепесток «плюс» и корпус) накоротко.

Для разделения постоянной и переменной составляющих пульсирующего тока можно использовать катушку индуктивности. Катушка сравнительно легко пропускает постоянный ток, но оказывает большое сопротивление переменному току. Это связано с тем, что при изменениях тока возникает переменное магнитное поле катушки, которое... препятствует изменению тока в цепи. Чем быстрее меняется ток и чем больше индуктивность катушки, тем сильнее «мешающее» действие магнитного поля, тем слабее ток в цепи.

Сопротивление, которое катушка оказывает переменному току, называется ее индуктивным сопротивлением и обозначается  $x_L$ . Как следует из сказанного выше, индуктивное сопротивление катушки  $x_L$  будет тем больше, чем больше ее индуктивность и чем выше частота переменного тока  $f$  (чем выше частота переменного тока, тем быстрее он меняется):

Индуктивное сопротивление катушки  $x_L$ , так же, как и емкостное сопротивление конденсатора, зависит от частоты, но с увеличением частоты  $x_L$  растет, в то время как  $x_C$  уменьшается (рис. 80, 81, лист 126). В фильтрах катушку используют в тех цепях, куда нужно сравнительно легко пропустить постоянный ток и не пропустить переменный ток. Катушку, используемую для этих целей, обычно называют дросселем (листы 124, 125).

Для разделения составляющих пульсирующего тока можно собрать фильтр из дросселя и сопротивления  $R_f$  (лист 124). Если  $x_L$  будет намного больше  $R_f$ , то переменная составляющая пульсирующего тока в основном пройдет через сопротивление, а постоянная — через дроссель. Иными словами, фильтр из дросселя и сопротивления может выполнять те же функции, что и RC-фильтр. Для того чтобы  $x_L$  было достаточно большим, дроссели, применяемые на низких частотах, должны иметь большую индуктивность — от единиц до нескольких десятков генри. Такие дроссели содержат до нескольких тысяч витков и выполняются на стальных, собранных «встык» (лист 115) сердечниках, похожих на сердечники силовых трансформаторов.

Высокочастотные дроссели, то есть дроссели, которые должны обладать большим сопротивлением на высоких частотах, обычно имеют индуктивность несколько миллигенри. Они содержат несколько десятков витков, размещенных на каркасе, который иногда снабжен сердечником из магнитодиэлектрика. Поскольку дроссель, особенно низкочастотный, является довольно дорогой деталью, то там, где это возможно, стараются использовать фильтры, состоящие из сопротивлений и конденсаторов.

Фильтр анодного выпрямителя (рис. 82, лист 125) обычно состоит из сопротивления  $R_f$  или дросселя  $D_{rf}$  и двух электролитических конденсаторов  $C_{f1}$  и  $C_{f2}$  большой емкости (10–40 мкф). Еще раз напоминаем, что электролитические конденсаторы можно включать только в определенной полярности: алюминиевый корпус соединяется с «минусом» источника тока, к которому подключается конденсатор, а «плюс» этого источника соединяется с имеющимся на конденсаторе изолированным лепестком. При выборе конденсаторов, особенно для высоковольтных цепей, желательно иметь некоторый запас по напряжению.

Так, если на конденсаторе указано, что его рабочее напряжение составляет 300 в, то желательно, чтобы напряжение, которое будет приложено к этому конденсатору, не превышало 200–250 в.

Рис. 82. В фильтре выпрямителя сопротивление  $R_f$  или дроссель  $D_{rf}$  не пропускает к нагрузке переменную составляющую пульсирующего тока, а конденсаторы  $C_{f1}$  и  $C_{f2}$  замыкают ее накоротко. В результате по нагрузке течет постоянный ток, и на ней действует постоянное напряжение.

Основная часть переменной составляющей пульсирующего тока замыкается через первый, считая от вентиля, конденсатор  $C_{f1}$ , а окончательная фильтрация осуществляется вторым конденсатором  $C_{f2}$ . С точки зрения фильтрации желательно, чтобы сопротивление  $R_f$  было как можно больше (3–5 ком). Однако, как правило,  $R_f$  не превышает 1,5–2 ком. Дело в том, что по этому сопротивлению проходит весь выпрямленный (анодный и экранный) ток и на нем теряется часть выпрямленного напряжения ( $U_f$ ). Чем больше ламп питается от выпрямителя и чем больший анодный и экранный ток у каждой из них, тем больше и общий ток, который проходит через  $R_f$ , тем меньше то напряжение, которое фактически действует на выходе выпрямителя (лист 125).

В многоламповых приемниках, а также в выпрямителях, где нужно получить особо хорошую фильтрацию, вместо  $R_f$  обычно применяют низкочастотный дроссель, который для постоянного тока обладает сопротивлением 300–600 ом и в то же время создает очень большое сопротивление (несколько килоом) для переменной составляющей выпрямленного тока. Так, например, дроссель с индуктивностью 10 гн на частоте 50 гц имеет сопротивление более 3 ком.

Теперь, когда мы познакомились с выпрямителем, силовым трансформатором и фильтром, приступим к постройке блока питания, который можно будет использовать в любом из наших приемников. Принципиальная и монтажная схемы блока питания приведены на чертеже 9.

### БЛОК ПИТАНИЯ — ПАНЕЛЬ БП

Схема блока питания не требует особых пояснений. Основой ее является силовой трансформатор  $Tr1$ , к которому через предохранитель  $Pr1$  и выключатель питания  $Bk1$  (совмещен с одним из переменных сопротивлений) подводится напряжение сети.

Предохранитель  $Pr1$  используется для включения приемника на нужное напряжение сети: с помощью предохранителя можно подключить один из сетевых проводов ко всей сетевой обмотке (220 в) либо к одному из ее отводов (127 в). Другой отвод, рассчитанный на 110 в, нами не используется, так как это напряжение почти никогда не встречается.

В качестве трансформатора  $Tr1$  в описываемом блоке питания применен силовой трансформатор от приемника «Рекорд-53», имеющий следующие данные: сердечник сечением 7,5 см<sup>2</sup> (сталь Ш-20, набор 37 мм); секции первичной (сетевой) обмотки содержат: 1а — 558, 1б — 102 и 1в — 660 витков провода ПЭ-0,25; повышающая обмотка II содержит 1250 витков провода ПЭ-0,15, обмотка накала кенотрона III — 42 витка ПЭ-0,51 и накала ламп IV — 41 виток провода ПЭ-0,93. Нижние по схеме концы повышающей II и накальной IV обмоток соединены между собой и образуют один общий вывод.

Выпрямленное кенотроном Л5 (5Ц4С)[12] напряжение подводится к фильтру, состоящему из двух электролитических конденсаторов  $C35$  и  $C34$  и сопротивления  $R19$ . Параллельно второму конденсатору фильтра, то есть фактически между «плюсом» и «минусом» выпрямителя включено сопротивление  $R_{разр}$ . Оно служит для того, чтобы конденсаторы  $C34$  и  $C35$  могли разряжаться даже в том случае, когда к блоку питания не подключены другие блоки, то есть когда выпрямитель работает без нагрузки. Оставлять конденсаторы фильтра неразряженными не рекомендуется из соображений безопасности.



Для того чтобы уменьшить ток, который проходит через сопротивление фильтра R19, а вместе с этим уменьшить падение напряжения на этом сопротивлении и теряемую в нем мощность, можно пойти на одну небольшую «хитрость» (лист 125, нижняя схема). Смысл ее заключается в том, что напряжение на анод выходной лампы снимается до сопротивления R19 ( $R_f$ ), то есть непосредственно катода кенотрона. Благодаря этому через проходят анодные и экранные токи всех ламп (10–20 ма), кроме анодного тока выходной лампы (30–35 ма). Поскольку ток выходной лампы не проходит через R19, падение напряжения на этом сопротивлении не превышает 10–20 в, а рассеиваемая мощность оказывается меньше 0,5 вт. В этой схеме, правда, есть один недостаток: к аноду выходной лампы подводится выпрямленное напряжение со значительными пульсациями. Однако пульсации анодного напряжения выходной лампы лишь немного увеличивают общий уровень фона.

При желании можно уменьшить фон, пропустив весь ток через R19 и заменив это сопротивление на более мощное (2–5 вт). При этом падение напряжения на R19 увеличится в несколько раз, напряжение на выходе выпрямителя уменьшится до 180–150 в, что, в свою очередь, приведет к некоторому уменьшению выходной мощности.

Уменьшить уровень фона, не снижая выпрямленного напряжения (и даже несколько повысив его), можно в том случае, если вместо R19 применить дроссель с сопротивлением постоянному току 200–300 ом. Вот примерные данные такого дросселя: сердечник сечением 3–5 см<sup>2</sup>; число витков 2000–3000 (обычно намотку производят до полного заполнения каркаса); провод ПЭ-0,15—ПЭ-0,2; сердечник собирается не «в перекрышку», как у силового трансформатора, а «встык», с использованием тонкой бумажной прокладки.

Вместо кенотрона 6Ц5С в блоке питания можно применить селеновый вентиль или два высоковольтных плоскостных полупроводниковых диода Д7Ж или ДГ-Ц27. Диоды соединяются последовательно, и каждый из них шунтируется сопротивлением 50—100 ком (оба сопротивления должны быть одинаковыми!).

С назначением этих сопротивлений стоит познакомиться подробнее.

Сильно упростив схему выпрямителя, можно представить его в виде трех последовательно соединенных элементов: повышающей обмотки силового трансформатора, на которой действует переменное напряжение, и двух сопротивлений: сопротивления вентиля и сопротивления нагрузки выпрямителя  $R_n$ . Для нашего выпрямителя нагрузкой являются анодные цепи ламп. Чем больше потребляемый лампами ток, тем меньше  $R_n$  (закон Ома!), тем сильнее нагружен выпрямитель.

Что касается вентиля, то его сопротивление непрерывно меняется (см. рис. 35): когда вентиль пропускает ток, сопротивление его мало (прямое сопротивление), а в тот полупериод, когда вентиль тока не пропускает, — сопротивление его очень велико (обратное сопротивление  $R_{обр}$ ), и поэтому на нем действует большое напряжение (обратное напряжение).

Мы, конечно, упрощенно рассмотрели все процессы: нам следовало бы учесть постоянное напряжение, действующее на конденсаторе фильтра, ток, протекающий через вентиль, и ряд других факторов. Но даже упрощенное рассмотрение вопроса позволило нам сделать очень важный вывод: наибольшая опасность пробоя вентиля существует в тот момент, когда на нем действует обратное напряжение. Если бы мы разобрались в работе выпрямителя более подробно, то увидели бы, что обратное напряжение может в два-три раза превысить величину переменного напряжения, действующего на вторичной обмотке силового трансформатора.

Для каждого типа вентиля существует допустимая величина обратного напряжения  $U_{обр}$  (лист 121).

Для диодов Д7Ж (ДГ-Ц27) допустимая величина  $U_{обр}$  составляет 400 в. Если учесть, что переменное напряжение, которое подводится к нашему выпрямителю, составляет примерно 200–230 в и что на вентиле моментами будет действовать напряжение около 700 в, то станет ясно, что один диод Д7Ж включать вместо кенотрона нельзя.

Попробуем теперь включить последовательно два диода. Очевидно, на каждом из них будет действовать половина обратного напряжения, так как диоды образуют делитель напряжения, состоящий из сопротивлений  $R_{обр-1}$  и  $R_{обр-2}$  (лист 122), и поэтому к двум соединенным последовательно диодам можно будет приложить напряжение 800 в (для одного диода допускается  $U_{обр} = 400$  в, для двух  $2 \times 400 = 800$  в).

Все эти расчеты были бы справедливы, если бы оба диода имели одинаковые обратные сопротивления  $R_{обр}$  и все обратное напряжение  $U_{обр}$  распределялось бы между ними поровну. В действительности же у полупроводниковых диодов наблюдается большой разброс величины обратного сопротивления: у некоторых экземпляров  $R_{обр}$  составляет 100–150 ком, у других достигает нескольких мегом. Если включить последовательно два таких диода, то все обратное напряжение распределится на них пропорционально величинам  $R_{обр}$  (лист 122). При этом на диоде с большим обратным сопротивлением может появиться недопустимо большое напряжение, и этот диод может выйти из строя — в результате электрического «пробоя» его зоны n и p окажутся соединенными накоротко. А после того, как будет «пробит» первый диод, сразу же выйдет из строя и второй, так как все обратное напряжение теперь будет приложено к нему.

Вся эта страшная картина, по-видимому, заставила вас сделать вывод, что полупроводниковые диоды нельзя соединять последовательно. Такой вывод является преждевременным.

Попробуем параллельно каждому из соединенных последовательно диодов подключить сопротивление — шунт ( $R_{d-1}$ ,  $R_{d-2}$ ), величина которого значительно меньше даже самого небольшого из встречающихся обратных сопротивлений. Мы уже говорили, что встречаются диоды, в которых  $R_{обр} = 100 - 150$  ком, и поэтому выбираем сопротивления  $R_d$  по 50 ком.

Как известно (лист 29), при параллельном соединении сильно отличающихся сопротивлений общее сопротивление примерно равно наименьшему из них. Поэтому обратные сопротивления включенных последовательно диодов с учетом подключенных к ним сопротивлений — шунтов  $R_d$  во всех случаях будут составлять примерно 50 ком, а это значит, что обратное напряжение распределится на диодах поровну.

Шунтирование полупроводниковых диодов с целью «выравнивания» их обратных сопротивлений применяется весьма широко.

Заканчивая описание блока питания, следует заметить, что в нем без изменения схемы можно применить силовой трансформатор от приемников «АРЗ-53», «Стрела» и др. Можно применять трансформаторы и от других приемников, но в этом случае необходимо будет собирать блок питания по схемам, отличающимся от той, которая приведена на чертеже 9. С некоторыми из таких схем вы познакомитесь в конце книги.

На чертеже 9, так же, как и на других схемах, монтажные лепестки и лепестки ламповых панелей обозначены красными цифрами. Зеленые цифры указывают постоянные напряжения, измеренные авометром ТТ-1.

## Глава 5

### УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

В предыдущей главе мы познакомились с устройством и работой электронной лампы. Теперь

нужно научиться использовать лампу для усиления слабых сигналов, поступающих в антенну приемника.

Для начала можно попытаться с помощью лампового усилителя повысить громкость приема. С этой целью мы построим двухламповый усилитель... для воспроизведения грамзаписи. Тем, кто считает, что это будет отступлением от главной задачи — постройки лампового приемника, скажем сразу, что изготовленный усилитель без каких-либо изменений будет использован во всех наших приемниках.

Прежде чем говорить о том, как воспроизводится грамзапись с помощью усилителя, вспомним, как работает обычный патефон. Здесь с помощью пружины равномерно вращается грампластинка, а по ней движется тонкая металлическая игла.

Если вы внимательно посмотрите на граммофонную пластинку через увеличительное стекло, то увидите на ней множество тонких извилистых канавок, а точнее, одну извилистую канавку, которая спиралью идет от края пластинки к ее центру. Извилины в канавке сделаны в процессе записи звука и определили форму этой канавки: громкому звуку соответствуют глубокие извилины, тихому — мелкие; чем ниже частота звука, тем больше расстояние между соседними извилинами. Одним словом, извилистая канавка является своего рода графиком, запечатлевшим определенные звуковые колебания.

Когда игла движется по канавке, то она колеблется, причем частота и амплитуда колебаний иглы зависят от формы встречающихся на ее пути извилины. Если к колеблющейся игле прикрепить тонкую металлическую пластинку — мембрану, то эта мембрана также будет колебаться и создавать звуковые волны — копию звука, с помощью которого осуществлялась запись. Именно так и воспроизводятся грамзаписи в патефоне.

Недостатки патефона известны всем: звучит он тихо, да и сам звук оказывается хриплым и дребезжащим. Кроме того, патефон не дает возможности воспроизводить записи с так называемых долгоиграющих пластинок, которые вращаются с меньшей скоростью, чем обычные, а значит, имеют более длительное время звучания. Обычные пластинки вращаются со скоростью 78 оборотов в минуту, и время звучания у них не превышает 3–5 минут. Для различных типов долгоиграющих пластинок принята скорость вращения 45, 33 $\frac{1}{3}$ , и даже 16 оборотов в минуту. Время их звучания обычно составляет 10–30 минут, а у некоторых образцов даже более часа.

Воспроизводить грамзаписи с любых пластинок, причем воспроизводить их достаточно громко и с высоким качеством звука, позволяют электропроигрыватели и радиолы. В этих устройствах механические колебания иглы с помощью так называемого звукоснимателя преобразуются в электрический сигнал. Вовремя движения иглы по извилистой канавке, на выходе звукоснимателя, появляется переменное напряжение, частота и амплитуда которого полностью определяется формой канавки. Иными словами, напряжение на выходе звукоснимателя является копией звуковых колебаний, которые «записаны» на пластинке.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили пьезоэлектрические звукосниматели. Основным элементом такого звукоснимателя является небольшой хрупкий кристалл сегнетовой соли или титаната бария, который обладает одним замечательным свойством: если слегка изгибать этот кристалл в ту или иную сторону, то в результате сложных процессов, происходящих в молекулах кристалла, на его гранях будут накапливаться электрические заряды, а значит, будет появляться электродвижущая сила.

В звукоснимателе кристалл прикреплен к игле, и когда она колеблется, двигаясь по канавке, то на гранях кристалла появляется нужное нам напряжение.

Переменное напряжение на выходе звукоснимателя обычно составляет 50—300 мВ (0,05—0,3 В), а мощность не превышает нескольких миллионных долей ватта. Конечно,

непосредственно воспроизвести такой слабый сигнал мы не сможем, но для его усиления легко построить ламповый или транзисторный усилитель. Этот усилитель можно будет использовать и для усиления низкочастотного сигнала, который получается в приемнике на выходе детектора. ДИНАМИЧЕСКИЙ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ

Как бы мы ни усиливали электрические колебания низкой частоты, имеющийся в нашем распоряжении головной телефон (наушник) не обеспечит достаточной громкости воспроизведения звука. Это объясняется особенностями конструкции телефона и, в первую очередь, тем, что его мембрана имеет очень маленькую площадь и в процессе колебаний «захватывает» сравнительно небольшой объем воздуха.

Получить мощные звуковые колебания можно с помощью громкоговорителя. В настоящее время наиболее широкое распространение получили эллиптические и круглые электродинамические громкоговорители с постоянными магнитами (рис. 83).

Рис. 83. Если через звуковую катушку громкоговорителя пропустить переменный ток, то диффузор будет колебаться в поле постоянного магнита и создавать звуковые волны.

Основой такого громкоговорителя является штампованный металлический корпус, на котором закреплен постоянный магнит и диффузор. Диффузор штампуют из специальной массы, которая после высыхания несколько напоминает плотную бумагу. К вершине диффузора прикреплен бумажный цилиндр, который служит каркасом для так называемой звуковой катушки. Звуковая катушка обычно содержит 20–50 витков медного провода диаметром 0,1–0,5 мм, намотанных в один, а иногда и в два слоя. Начало и конец звуковой катушки подпаяны к небольшим медным заклепкам, укрепленным непосредственно на диффузоре. Для соединения с катушкой от заклепок сделаны отводы из гибкого многожильного провода.

Важной характеристикой динамического громкоговорителя является сопротивление его звуковой катушки для постоянного тока  $R_{зв}$ , которое у большинства громкоговорителей лежит в пределах от 2–3 ом до 10–15 ом (лист 127).

Однако при расчетах и измерениях в большинстве случаев учитывается не  $R_{зв}$ , а полное (с учетом индуктивности) сопротивление катушки для частоты 400 гц. Как правило, полное сопротивление всего лишь на 10–20 % превышает сопротивление катушки постоянному току. Поэтому в радиолюбительской практике при расчетах можно пользоваться величиной  $R_{зв}$ , которую легко определить с помощью обычного омметра.

Звуковая катушка помещается в сильное магнитное поле постоянного магнита. Нам уже известно, что если через катушку пропустить электрический ток, то она сама создаст магнитное поле, которое будет тем сильнее, чем больше величина тока. От направления этого тока зависит расположение магнитных полюсов катушки. Так, например, при одном каком-нибудь направлении тока катушка притягивается к северному полюсу постоянного магнита, при обратном направлении тока катушка отталкивается от северного полюса магнита.

Если пропустить через звуковую катушку громкоговорителя переменный ток, то, взаимодействуя с постоянным магнитом, она будет двигаться то в одну, то в другую сторону, следуя за всеми изменениями тока. Совершенно очевидно, что вместе с катушкой будет двигаться и диффузор, увлекая за собой окружающий воздух. Движение диффузора создает колебания воздуха, которые по частоте и по силе будут соответствовать току в звуковой катушке.

Чем больше ток, протекающий по звуковой катушке, тем сильнее колеблется диффузор, тем громче создаваемый им звук. Однако беспредельно увеличивать ток в звуковой катушке нельзя: если превысить ток, допустимый для данного типа громкоговорителя, то громкоговоритель будет «перегружаться» и звук будет воспроизводиться с сильными

искажениями. Очень большая перегрузка громкоговорителя может совсем вывести его из строя: может сгореть звуковая катушка, а при сильных «толчках» тока диффузор может повредиться.

Для каждого типа громкоговорителя существует максимальная электрическая мощность, которую можно подвести к звуковой катушке, не вызывая сильных искажений звука. Этой мощности, выраженной в ваттах, соответствует первая цифра в названии громкоговорителя.

Так, например, громкоговоритель 0,5ГД-5 имеет максимальную мощность 0,5 вт, 1ГД-9 — рассчитан на 1 вт, 5ГД-14 — на 5 вт, и т. д. Совершенно очевидно, что если громкоговоритель рассчитан на мощность 1 вт, то он будет работать без искажений и при меньшей мощности. Наиболее часто встречающиеся в наименовании громкоговорителя буквы «ГД» означают «громкоговоритель динамический», а последняя цифра указывает тип громкоговорителя (лист 127).

Однако не вся электрическая мощность, подводимая к громкоговорителю, расходуется на создание звуковых колебаний — часть ее теряется на нагревание проводов звуковой катушки, на механические потери в диффузоре и т. п. Для большинства типов громкоговорителей мощность звуковых колебаний в несколько десятков раз меньше, чем подводимая электрическая мощность.

Электрическая мощность, подводимая от усилителя к звуковой катушке громкоговорителя, — это и есть так называемая выходная мощность усилителя низкой частоты. Следует заметить, что первая цифра в названии громкоговорителя относится не к мощности звуковых колебаний, а именно к электрической мощности, которая от усилителя НЧ подводится к звуковой катушке.

При одной и той же выходной мощности преобразование электрической энергии в звуковые колебания происходит значительно эффективнее, когда громкоговоритель закреплен на акустическом экране — специальной доске из дерева или толстой фанеры, которую радиолюбители часто называют отражательной доской. Громкоговоритель, установленный на отражательной доске, работает не только громче, но и лучше воспроизводит все звуковые частоты, особенно низкие («басы»). Еще лучше и громче будет работать громкоговоритель, если его вместе с акустическим экраном («отражательной доской») установить в ящик.

Зная мощность  $P_{зв}$ , подводимую к громкоговорителю, и сопротивление его звуковой катушки  $R_{зв}$ , можно легко подсчитать ток в звуковой катушке  $I_{зв}$  и напряжение на ней  $U_{зв}$  (лист 128).

Вопрос о том, какой громкоговоритель применить в приемнике или усилителе и какую подвести к нему мощность, должен решаться в зависимости от требований, предъявляемых к данной установке. Так, например, головной телефон удовлетворительно работает при мощности менее 1 мвт (1 мвт = 0,001 вт).

Для карманного приемника с громкоговорителем можно ограничиться выходной мощностью 20–50 мвт. В небольшом помещении стационарный приемник звучит достаточно громко при выходной мощности 200 мвт (0,2 вт). Простейшие промышленные приемники имеют выходную мощность 0,5–1 вт, а более дорогие — до 3–8 вт. В усилителях, предназначенных для озвучивания больших помещений, например в установках звукового кино, выходная мощность может достигать нескольких сот ватт, а усилители низкой частоты на больших радиоузлах имеют мощность несколько киловатт (1 квт = 1000 вт).

Получение необходимой мощности — это лишь одно из требований к усилителю НЧ. Другое важнейшее требование можно коротко сформулировать так: усилитель должен работать без заметных искажений. **УСИЛИВАТЬ БЕЗ ИСКАЖЕНИЙ!**

Вам, очевидно, приходилось слышать плохо налаженный приемник или усилитель, где

воспроизводимая речь и особенно музыка сильно искажены: многие музыкальные инструменты звучат неестественно, а некоторые из них, например барабан, почти совсем не слышны. В таком усилителе периодически, особенно при больших уровнях громкости, вместе с музыкой слышатся неприятные хрипы и шорохи. Все эти искажения обычно возникают из-за плохой работы усилителя или повреждений в громкоговорителях. Правда, иногда сильные искажения могут возникать и на передающей стороне: в аппаратуре студий или на радиопередатчиках.

Чаще всего нам приходится сталкиваться с двумя видами искажений: частотными и нелинейными.

Частотные искажения появляются тогда, когда усилитель по каким-нибудь причинам неодинаково усиливает или громкоговоритель неодинаково воспроизводит электрические колебания разных частот. Так, например, если перед микрофоном выступают два певца — бас и тенор, а усилитель НЧ приемника плохо усиливает низшие звуковые частоты, то в месте приема у слушателя создается впечатление, что певец-бас поет намного тише своего коллеги. Особенно заметны частотные искажения, когда воспроизводится музыка в исполнении оркестра.

В каждом усилителе имеются такие элементы, как трансформаторы, конденсаторы, катушки индуктивности, из-за которых и возникают частотные искажения. Это связано с тем, что сопротивление  $x_L$  и  $x_C$ , которые оказывают перечисленные элементы переменному току, зависит от частоты этого тока. Поэтому, когда сигнал проходит по тем цепям усилителя, где имеется индуктивность или емкость, может произойти ослабление низших частот, например из-за увеличения  $x_C$  при уменьшении частоты, или высших частот, например из-за возрастания  $x_L$ .

Можно избежать частотных искажений, если подобрать элементы усилителя с таким расчетом, чтобы он в одинаковое число раз усиливал электрические колебания всех звуковых частот от 30 гц до 10–15 кгц. Однако получить равномерное усиление в таком широком диапазоне частот довольно трудно, и поэтому в простых приемниках ограничиваются низшими частотами (50—150 гц) и высшими (6–7 кгц), что заметно упрощает схему и облегчает подбор деталей усилителя.

Для оценки частотных искажений обычно пользуются частотной характеристикой, которая показывает, какую величину имеет коэффициент усиления на различных частотах (рис. 84).

Рис. 84. Частотная характеристика усилителя показывает, как его коэффициент усиления зависит от частоты.

Коэффициент усиления  $k$  показывает отношение напряжения на выходе усилителя  $U_{вых}$  к напряжению на входе  $U_{вх}$ , то есть фактически показывает, во сколько раз выходное напряжение больше входного.

Как правило, коэффициент усиления уменьшается на крайних — высших и низших — частотах. Сравнивая усиление на той или иной частоте с усилением на какой-нибудь средней частоте (обычно средней считают частоту 1000 гц), можно количественно оценить частотные искажения. Так, например, если сигнал с частотой 1000 гц усиливается в сто раз, а сигнал с частотой 50 гц — в пятьдесят раз, то на частоте 50 гц частотная характеристика «завалена» и коэффициент усиления снижается на этой частоте в два раза. Обычно завал или подъем частотной характеристики измеряют в децибелах (дб). На стр. 184 есть таблица, с помощью которой можно определить, какой подъем или завал частотной характеристики соответствует тому или иному числу децибел (лист 129).

Наряду с усилителем частотные искажения может вносить и громкоговоритель. Так, например, громкоговорители с малой площадью диффузора сильно заваливают низшие

частоты, а большие громкоговорители плохо воспроизводят высшие частоты. Для того чтобы добиться равномерного воспроизведения широкой полосы частот, в приемниках высокого класса устанавливают несколько различных громкоговорителей.

Для полной оценки частотных искажений снимают частотную характеристику, измеряя не выходное напряжение  $U_{вых}$ , а звуковое давление, создаваемое громкоговорителем. Начинающим радиолюбителям подобные измерения проводить трудно, и поэтому им приходится оценивать работу приемника на слух.

Если внимательно прислушаться к передаче, особенно при воспроизведении музыки, то можно легко обнаружить завал низших частот (рис. 85, 87).

Рис. 85. Частотная характеристика может иметь завал в области низших частот. В этом случае басы (контрабас, барабан, виолончель и др.) воспроизводятся слабо.

В этом случае звук становится «сухим», такие инструменты, как контрабас, виолончель и особенно барабан, прослушиваются плохо. В случае же завала высших частот звук становится глухим, «бубнящим» — скрипки, флейты звучат приглушенно (рис. 86, 87).

Рис. 86. В случае завала частотной характеристики в области высших частот звук получается бубнящим, приглушенно звучат такие инструменты, как скрипка, флейта, труба.

Рис. 87. Усилитель с равномерной частотной характеристикой одинаково хорошо воспроизводит все звуковые частоты.

Проверять усилитель нужно тогда, когда громкоговоритель укреплен на доске и вставлен в ящик, так как в противном случае будут очень сильно завалены низшие частоты.

Нелинейные искажения в той или иной степени возникают во всех звеньях радиовещательного тракта: в передатчике, приемнике, различных усилителях, микрофоне, громкоговорителе и т. д. Эти искажения фактически представляют собой искажение формы кривой сигнала. В усилителе НЧ нелинейные искажения обнаруживаются тогда, когда график выходного напряжения становится не похожим на график входного напряжения. Так, например, в те моменты, когда входное напряжение растет, в результате нелинейных искажений выходное напряжение может оставаться неизменным (вершины графика выходного напряжения становятся приплюснутыми). Вследствие искажения формы кривой, звук, воспроизводимый громкоговорителем, оказывается не похожим на звук перед микрофоном: он становится хриплым и дребезжащим (рис. 88).

Рис. 88. В результате нелинейных искажений меняется форма усиливаемого сигнала — в нем появляются составляющие, которых не было при передаче. При этом воспроизводимый звук становится хриплым и дребезжащим.

Источником нелинейных искажений в усилителях низкой частоты являются лампы и трансформаторы со стальными сердечниками. Именно в этих элементах и может искажаться форма сигнала из-за того, например, что при большой амплитуде усиливаемого напряжения на управляющей сетке лампа может оказаться запертой (то есть ее анодный ток прекратится) или из-за того, что в стальном сердечнике трансформатора наступит насыщение — сердечник намагнитится до предела и увеличение тока в обмотке не будет усиливать его магнитного поля.

Подобрав необходимые напряжения на электродах лампы и правильно рассчитав трансформаторы, через которые проходит усиливаемый сигнал, нелинейные искажения в усилителе НЧ можно заметно уменьшить.

Наряду с частотной характеристикой при оценке любого звуковоспроизводящего устройства

указывается также коэффициент нелинейных искажений  $k_n$ , или, как еще называют, коэффициент гармоник. Раньше этот показатель называли «кларифактор», что в переводе означает «показатель ясности». Коэффициент нелинейных искажений показывает, сколько процентов мощности полезного звукового сигнала составляет мощность посторонних звуков — всех этих шумов и хрипов, появившихся в результате нелинейных искажений.

Предположим, что скрипач, стоя перед микрофоном, медленно проводит смычком по струне и при этом на микрофон воздействуют звуковые колебания с частотой 500 гц, а в приемнике этот звук воспроизводится с мощностью 1 вт. Предположим также, что, в результате нелинейных искажений в передатчике, приемнике и других элементах тракта, громкоговоритель, кроме звука с частотой 500 гц, воспроизводит еще и другие звуки, которых не было при передаче, и что мощность этих посторонних звуков составляет 0,1 вт. В этом случае коэффициент нелинейных искажений  $k_n$  всего тракта от микрофона до громкоговорителя, или, как говорят акустики, «от уха до уха», составляет 10 %. Небольшие нелинейные искажения (1–3 %) наше ухо не обнаруживает. Искажения 8–12 % сильно ухудшают качество звука, а при нелинейных искажениях в 15–25 % передача оказывается настолько искаженной, что слушать ее очень неприятно.

В каждом из элементов радиовещательного тракта в отдельности искажения невелики, но радиослушатель практически воспринимает сумму всех искажений. Это заставляет вести серьезную борьбу за уменьшение нелинейных искажений во всех элементах тракта: в передатчике, в детекторе, усилителе низкой частоты и т. д. Нелинейные искажения у громкоговорителей составляют 2–3 %, а у хороших усилителей 0,5–1,5 %. В простом усилителе НЧ можно допустить  $k_n$  около 3–6 %. **УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД**

Наряду с электронной лампой и источником ее питания одним из важнейших элементов усилительного каскада является анодная нагрузка. Именно в нагрузке и выделяется «мощная копия» усиливаемого сигнала.

Как уже отмечалось, в качестве нагрузки может использоваться головной телефон, громкоговоритель, обычное сопротивление, колебательный контур, дроссель (лист 131) и другие элементы. Нагрузка, как правило, включается непосредственно в анодную цепь лампы, и через нее к аноду подводится положительное напряжение. Рассмотрим вкратце работу усилительного каскада, в котором в качестве анодной нагрузки используется обычное сопротивление (лист 132).

Если напряжение на управляющей сетке неизменно, то в анодной цепи лампы протекает постоянный ток — ток покоя. Если же к управляющей сетке подвести усиливаемый сигнал, то анодный ток станет пульсирующим: под действием сигнала, приложенного к сетке, будет изменяться величина анодного тока, однако направление его всегда будет одним и тем же — от анода к катоду. Электроны, конечно, двигаются от катода к аноду, но при рассмотрении схем мы пользуемся условным направлением тока.

Пульсирующий анодный ток содержит постоянную  $I_{a=}$  и переменную  $I_{a\sim}$  — составляющие, которые в случае необходимости можно разделить с помощью фильтров (лист 124). Основную роль в процессе усиления играет переменная составляющая  $I_{a\sim}$  анодного тока, появившаяся под действием усиливаемого сигнала: именно  $I_{a\sim}$ , проходя по нагрузке, создает «мощную копию» этого сигнала.

На чертеже 11 более подробно показан путь переменных составляющей анодного тока в усилительном каскаде.

Через лампу и нагрузку переменная составляющая  $I_{a\sim}$  проходит вместе с постоянной  $I_{a=}$ , а затем пути их расходятся: переменная составляющая возвращается к лампе через конденсатор фильтра выпрямителя  $C_{\phi 2}$  ( $C_{34}$ ), а постоянная составляющая проходит через



повышающую обмотку трансформатора через вентиль и сопротивление фильтра ( $R_{\phi}$ ,  $R_{19}$ ). При батарейном питании анодной цепи обе составляющие  $I_{a\approx}$  и  $I_{a\sim}$  проходят через батарею, причем последнюю рекомендуется шунтировать конденсатором большой емкости, чтобы облегчить путь для  $I_{a\sim}$ .

Переменная составляющая анодного тока  $I_{a\sim}$ , переходя по анодной нагрузке, создает на ней переменное напряжение и выделяет определенную мощность (лист 133).

Практически можно считать, что напряжение  $U_{\text{вых}}$  равно  $U_{n\sim}$ , так как емкостное сопротивление переходного конденсатора  $C_c$  ( $C_{28}$ ) сравнительно невелико.

Чем больше сопротивление анодной нагрузки  $R_n$ , тем больше будет переменное напряжение  $U_{n\sim}$ , а следовательно, и  $U_{\text{вых}}$ . Иными словами: чем больше сопротивление анодной нагрузки, тем больше и усиление каскада (рис. 89).

Рис. 89. Переменная составляющая анодного тока, проходя по сопротивлению анодной нагрузки, создает на нем переменное напряжение — усиленный сигнал. Чем больше сопротивление анодной нагрузки, тем больше и переменное напряжение на нем, тем больше усиление каскада.

Однако беспредельно увеличивать анодную нагрузку нельзя, так как это может привести к появлению сильных искажений сигнала и к уменьшению переменного напряжения.

Одна из причин, ограничивающих увеличение сопротивления нагрузки  $R_n$ , связана с тем, что постоянная составляющая анодного тока  $I_{a\approx}$ , проходя по сопротивлению  $R_n$ , создает на нем постоянное падение напряжений. Чем больше ток и чем больше сопротивление  $R_n$ , тем большая часть напряжения, поступающего с выпрямителя, теряется на нагрузке и тем, следовательно, меньше постоянное напряжение, действующее между анодом и катодом лампы (анодное напряжение). При очень большом сопротивлении нагрузки анодное напряжение может уменьшиться настолько, что каскад вообще перестанет усиливать (рис. 90).

Рис. 90. На анодной нагрузке теряется часть постоянного анодного напряжения, и поэтому при чрезмерно большом сопротивлении нагрузки напряжение на аноде лампы становится настолько низким, что усиление каскада уменьшается.

Сказанное можно пояснить и иначе. Лампа и нагрузка образуют своеобразный делитель напряжения, подключенный к анодному выпрямителю. Чем больше сопротивление верхней части делителя, то есть сопротивления  $R_n$ , тем меньшая часть напряжения остается на участке анод — катод.

Максимально допустимая величина  $R_n$  определяется также переменным напряжением, которое действует между анодом и катодом лампы. В некоторые моменты времени полярность переменного напряжения на аноде такова, что оно действует против постоянного напряжения и общее напряжение на аноде очень мало (лист 130). В эти моменты анод плохо «притягивает» электроны, анодный ток резко уменьшается и перестает «подчиняться» управляющему напряжению на сетке. В результате этого форма кривой анодного тока становится не похожей на форму кривой управляющего напряжения, то есть появляются нелинейные искажения.

Для того чтобы не было всех этих неприятных явлений, минимальное напряжение, которое остается на аноде, даже в самом неблагоприятном случае должно составлять не меньше чем 10–30 % постоянного анодного напряжения. Поэтому сопротивление нагрузки нужно выбирать с таким расчетом, чтобы амплитуда переменного напряжения на нагрузке не превышала бы 70–90 % постоянного анодного напряжения.

Для каждого типа лампы имеется некоторая оптимальная (наивыгоднейшая) величина сопротивления анодной нагрузки, которая указывается в числе параметров лампы или определяется расчетным путем. Ориентировочно можно считать, что для триодов оптимальное сопротивление нагрузки должно быть в два-три раза больше, а для пентодов в два — десять раз меньше внутреннего сопротивления лампы  $R_i$  (лист 133).

Подбирая анодную нагрузку опытным путем, следует начинать с небольших сопротивлений и увеличивать  $R_n$  до тех пор, пока не прекратится рост выходного напряжения или пока не появятся искажения.

Иногда в качестве анодной нагрузки применяют дроссели (лист 131). В этом случае переменное напряжение  $U_n$  на нагрузке определяется в основном индуктивным сопротивлением  $\chi_L$  дросселя. Сопротивление это легко сделать большим, применяя, например, стальной сердечник. В то же время дроссель обладает сравнительно небольшим сопротивлением для постоянного тока, и падение постоянного напряжения на нем невелико. Поэтому в усилительном каскаде с дросселем в качестве нагрузки почти все напряжение выпрямителя действует на аноде лампы.

Этим же свойством отличается и усилительный каскад, в анодную цепь которого включен трансформатор или колебательный контур. Несмотря на указанное достоинство, дроссель редко применяется в качестве нагрузки в усилителе НЧ, так как он вносит сильные частотные искажения: сопротивление нагрузки  $\chi_L$ , а следовательно, усиление каскада резко меняется с частотой.

В усилителях ВЧ анодной нагрузкой обычно служит колебательный контур, настроенный в резонанс с частотой усиливаемого сигнала (лист 131).

Важным элементом любого усилительного каскада является сопротивление утечки  $R_c$ , включенное в сеточную цепь лампы.

Необходимость включения этого сопротивления объясняется тем, что часть вылетевших из катода электронов всегда попадает на управляющую сетку. Накапливаясь на сетке, электроны создают на ней большой отрицательный заряд, который может препятствовать движению электронов от катода к аноду, так как на сетке появляется «минус» и лампа оказывается запертой (рис. 91).

Рис. 91. На сетку лампы всегда попадает некоторое количество электронов. Накапливаясь, они могут создать значительный отрицательный заряд, который «запрёт» лампу (анодный ток прекратится).

Для борьбы с этим явлением между сеткой и катодом и включают сопротивление  $R_c$ , по которому электроны, попадающие на сетку, возвращаются обратно на катод (рис. 92).

Рис. 92. Управляющую сетку соединяют с катодом через какое-либо сопротивление («утечка»), по которому попавшие на сетку электроны возвращаются обратно на катод.

Величину сопротивления  $R_c$  выбирают довольно большую — от нескольких сот килоом до нескольких мегом. При меньших значениях  $R_c$  это сопротивление будет заметно шунтировать источник усиливаемого сигнала (цепь детектора, колебательный контур и т. п.). При больших значениях  $R_c$  переход электронов с сетки на катод затруднится. В тех случаях, когда между сеткой и катодом включен какой-нибудь элемент цепи, пропускающий постоянный ток (угольный микрофон, обмотка трансформатора, контурная катушка и т. п.), необходимость в сопротивлении  $R_c$  отпадает (лист 134).

Рассматривая работу усилительного каскада, обратимся к так называемой динамической характеристике лампы. Динамическая характеристика отличается от рассмотренной нами

раньше (рис. 65) тем, что в ней учитывается изменение напряжения на аноде лампы при подаче сигнала на ее сетку. Совмещая график изменения напряжения на сетке с динамической характеристикой, можно легко получить график, показывающий, как изменяется анодный ток с течением времени. Пример построения такого графика показан на рис. 93.

Рис. 93. Для иллюстрации работы усилительного каскада обычно совмещают два графика: характеристику лампы и график изменения напряжения на сетке. В результате можно получить третий график, показывающий, как изменяется анодный ток.

Для каждого значения напряжения на сетке  $U_c$  по динамической характеристике находим соответствующее значение тока  $I_a$  и наносим его на график, показывающий зависимость  $I_a$  от времени  $t$ . Так, например, в момент «5 сек»  $U_c = -1,5$  в. Как видно из динамической характеристики, при  $U_c = -1,5$  в, анодный ток  $I_a = 3$  ма. Отсюда следует, что на график тока для момента «5 сек» можно нанести значение  $I_a = 3$  ма. Проведя подобную операцию для всех значений  $U_c$ , мы получим график изменения тока  $I_a$ . Построение графиков, как это уже много раз было и раньше, помогает нам сравнительно легко описывать сложные процессы, происходящие в усилительном каскаде.

Для упрощения рисунка при построении графика анодного тока была допущена одна неточность: мы не учли, что при положительных напряжениях на сетке появляется сеточный ток и поэтому несколько уменьшается число электронов, идущих к аноду. В результате появления сеточного тока изменяется форма анодного тока (в некоторые моменты анодный ток оказывается меньше, чем должен быть), то есть появляются нелинейные искажения (рис. 94).

Рис. 94. В те моменты, когда на сетке действует положительное напряжение, появляется сеточный ток, а из-за этого искажается форма анодного тока, то есть возникают нелинейные искажения.

Чтобы не было искажений, связанных с появлением сеточного тока, на сетке не должно быть положительного напряжения. Добиться этого можно сравнительно просто: подав на сетку (относительно катода!) вместе с усиливаемым сигналом постоянное отрицательное напряжение — отрицательное смещение (рис. 95, 96).

Рис. 95. Чтобы на сетке не появлялся «плюс», на нее вместе с переменным напряжением подают смещение — постоянное отрицательное напряжение. При слишком большом смещении искажения могут появиться из-за того, что лампа моментами окажется запертой.

Рис. 96. Чтобы избавиться от искажений, нужно прежде всего так подобрать начальное смещение («рабочую точку»), чтобы напряжение на сетке не становилось положительным и в то же время чтобы лампа не запиралась.

В этом случае напряжение на сетке будет меняться так же, как и раньше, в такт с сигналом, однако оно всегда будет оставаться отрицательным.

Величину отрицательного смещения нужно подбирать тщательно. При очень большом смещении лампа в некоторые моменты может оказаться запертой (это явление называется отсечкой), что, конечно, вызовет искажение формы анодного тока (рис. 95). Отрицательное смещение нужно выбирать с таким расчетом, чтобы ток покоя  $I_{пок}$  соответствовал середине прямолинейного участка ламповой характеристики. Этот участок с одной стороны ограничен положительным напряжением на сетке, а с другой стороны — нижним загибом характеристики (рис. 96, лист 135).

Существует несколько способов подачи отрицательного смещения на управляющую сетку. Один из них состоит в том, что в сеточную цепь лампы «минусом» к сетке включают

специальную батарею смещения (лист 136). Если  $U_{см}$  должно быть меньше, чем напряжение батареи, можно применить обычный делитель напряжения.

При другом способе, получившем очень широкое распространение, используются падение напряжения на сопротивлении,  $R_k$  (не путайте с сопротивлением потерь в контуре), специально включенном для этой цели в катодную цепь (лист 137). Проходя по сопротивлению  $I_{?}^*$ , катодный ток  $I^*$  (сумма постоянных составляющих анодного  $I_{a=}$  и экранного  $I_{э=}$  токов) создает на нем напряжение  $U_{см}$ . "Плюс" этого напряжения приложен к катоду лампы, а минус — к корпусу (или к общему проводу). С корпусом соединяется также и нижний (по схеме) конец сопротивления  $R_c$ , и, таким образом, напряжение на сопротивлении  $R_k$  фактически действует между сеткой и катодом. Необходимая величина отрицательного смещения устанавливается подбором сопротивления  $R_k$ : чем больше  $R_k$ , тем больше отрицательное смещение на сетке.

Для того чтобы на сопротивлении  $R_k$  не появилось переменного напряжения, это сопротивление шунтируют конденсатором  $C_k$ . Емкость конденсатора  $C_k$  подбирают с таким расчетом, чтобы даже на самой низкой из усиливаемых частот его емкостное сопротивление  $X_C$  было в десять — пятнадцать раз меньше, чем  $R_k$ . Если же конденсатор  $C_k$  легко пропускает самые низкие частоты, то более высокие он пропустит еще легче.

Иногда для получения отрицательного смещения используют сопротивление утечки  $R_c$  (лист 138). Дело в том, что небольшой, порядка нескольких микроампер, сеточный ток существует всегда, даже при отрицательных напряжениях на сетке. Если выбрать  $R_c$  достаточно большим (10–20 Мом), то на этом сопротивлении можно получить довольно большое, порядка нескольких вольт, напряжение, «минус» которого будет приложен к сетке.

В большинстве промышленных приемников для получения различных напряжений смещения используют сопротивление, включаемое в так называемую минусовую цепь выпрямителя (лист 139).

Общий анодный ток всех ламп, проходя по этому сопротивлению, создает на нем определенное падение напряжения. Если заземлить катоды ламп, а также заземлить точку а, то в точке б будет отрицательное, относительно катода, напряжение, которое можно подавать на сетку лампы в качестве смещения. Включив между точками а и б несколько сопротивлений, то есть сделав делитель напряжения, можно получить разные по величине отрицательные напряжения для подачи на сетки различных ламп.

Рассматривая перечисленные способы получения смещения, нужно всегда помнить о направлении тока. Электроны в лампе двигаются от катода к сетке и аноду, а если ввести в баллон положительный заряд, то он будет двигаться от анода или от сетки к катоду. Мы уже знаем, что это направление принято считать направлением тока в лампе, так как вообще за направление электрического тока принято направление Движения положительных зарядов. Между прочим, как бы мы ни рассматривали процессы в лампе, исходя из условного направления тока или фактического направления движения электронов, результат мы получим один и тот же. Взять, например, схему, изображенную на листе 138. Условное направление тока на этой схеме — от сетки к катоду внутри лампы, затем по внешней цепи от катода к нижнему концу сопротивления  $R_c$  (по шасси) снизу вверх через сопротивление  $R_c$  и с верхнего конца  $R_c$  обратно на сетку. При таком направлении тока на нижнем конце сопротивления будет «плюс», а на верхнем — «минус», так как ток (имеются в виду положительные заряды) течет от «плюса» к «минусу».

Теперь давайте рассмотрим эту схему, исходя из реального движения электронов. Они, как известно, двигаются от катода к сетке и далее сверху вниз по сопротивлению  $R_c$ . Совершенно ясно, что электроны будут двигаться по этому сопротивлению только в том случае, если вверху будет их избыток, а внизу недостаток, или, иными словами, если вверху

будет «минус», а внизу «плюс». Теперь видно, что, из чего бы мы ни исходили — из условного или из фактического направления тока, несмотря на то что эти направления противоположны, результат получится одинаковым. Да иначе и быть не может — ведь положительные заряды двигаются от «плюса» к «минусу», а электроны от «минуса» к «плюсу». Попробуйте проверить полярность напряжения смещения на других схемах для условного и фактического направления тока. Умение быстро определять направление тока и полярность напряжения на отдельных участках цепи — это одно из обязательных условий свободного чтения схем.

Все описанные выше элементы — нагрузка, источник смещения, сопротивление утечки — являются общими для усилителей низкой и высокой частоты, независимо от их мощности. Сейчас мы посмотрим, как практически выглядят эти элементы в двух каскадном усилителе низкой частоты. **УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ И УСИЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ**

Чтобы обеспечить сравнительно большую мощность, необходимую для нормальной работы громкоговорителя, в последнем, выходном каскаде усилителя НЧ (этот каскад часто называют усилителем мощности) применяются специальные лампы, получившие название выходных ламп.

В радиоприемниках наиболее широко используются выходные пентоды и лучевые тетроды, реже — выходные триоды. Отличительной особенностью выходных ламп является значительный анодный ток 40–70 ма (лист 209–213). Анодный ток других ламп, применяемых в приемниках и усилителях, как правило, не превышает 5–10 ма.

Оптимальное сопротивление анодной нагрузки  $R_a[13]$  для выходных пентодов и лучевых тетродов указывается в таблице параметров этих ламп и обычно составляет 3–10 ком. В то же время сопротивление звуковой катушки громкоговорителя не превышает нескольких ом. Поэтому, если включить громкоговоритель непосредственно в анодную цепь выходной лампы, то из-за малой анодной нагрузки выходная мощность составит всего несколько миллионных долей ватта.

Для того чтобы получить необходимое сопротивление нагрузки при небольшом сопротивлении громкоговорителя, он включается в анодную цепь выходной лампы через трансформатор, который получил название выходного трансформатора (рис. 97).

Рис. 97. Использование низкоомного громкоговорителя с понижающим выходным трансформатором равносильно включению в анодную цепь лампы сравнительно большого сопротивления.

Переменная составляющая анодного тока, проходя по первичной обмотке выходного трансформатора, наводит в его вторичной обмотке переменный ток, под действием которого и возникают колебания звуковой катушки.

В процессе работы громкоговоритель потребляет определенную электрическую энергию, которая в конечном итоге поступает из анодной цепи лампы. Поэтому громкоговоритель с выходным трансформатором можно условно заменить включенным непосредственно в анодную цепь лампы обычным сопротивлением  $R'_n$ , которое называют сопротивлением нагрузки, приведенным к анодной цепи. Сопротивление  $R'_n$  и является реальной анодной нагрузкой, которая определяет выходную мощность лампы.

Выходной трансформатор всегда делают понижающим: число витков вторичной обмотки меньше, чем первичной. Поэтому и переменное напряжение на вторичной обмотке меньше, чем на первичной, а переменный ток, который проходит по звуковой катушке, больше переменной составляющей анодного тока.

Еще резче отличается приведенное сопротивление нагрузки  $R'_n$  от сопротивления звуковой катушки громкоговорителя. И это вполне понятно: ведь напряжение на первичной обмотке

больше, чем на вторичной, а ток по ней протекает меньший. Это возможно лишь в том случае, если приведенное сопротивление нагрузки  $R'_n$  будет во много раз больше, чем  $R_{зв}$ . Зная коэффициент трансформации  $n$  выходного трансформатора, легко подсчитать величину  $R'_n$  с помощью простой формулы:

$$R'_n = n^2 \cdot R_{зв}$$

Здесь коэффициент трансформации  $n$  — это отношение числа витков первичной обмотки  $w_1$  к числу витков вторичной обмотки  $w_2$ . Трансформатор понижающий, и поэтому  $n$  всегда больше единицы. Соответствующим подбором коэффициента трансформации можно добиться того, что сопротивление нагрузки  $R'_n$  будет составлять несколько килоом при сопротивлении звуковой катушки  $R_{зв}$  несколько ом (лист 140).

При постройке приемника часто возникает необходимость переделать какой-нибудь фабричный трансформатор, приспособив его для данной лампы или данного громкоговорителя. При этом желательно знать, на какую лампу и на какой громкоговоритель был рассчитан трансформатор. Если окажется, что трансформатор подходит по мощности (а это, кстати, можно проверить по сечению сердечника и по диаметру провода первичной обмотки), то переделку можно свести к изменению числа витков вторичной обмотки. Этим самым мы получим коэффициент трансформации, необходимый для включения нового громкоговорителя (лист 141).

Если окажется, что данные переделываемого трансформатора неизвестны, то необходимое число витков вторичной обмотки можно найти, измерив коэффициент трансформации  $n$  и подсчитав число витков вторичной обмотки  $w_2$  (до переделки!). Для измерения коэффициента трансформации к первичной обмотке подводят переменное напряжение 5—20 в и измеряют напряжение на вторичной обмотке.

Сборка сердечника выходного трансформатора осуществляется «встык» (лист 115). Для создания зазора между двумя частями сердечника — стержневой и Ш-образной прикладывают полосу тонкой бумаги.

В заключение отметим, что сопротивление анодной нагрузки  $R_n$  у мощных выходных ламп, как правило, в несколько раз меньше, чем у маломощных пентодов и триодов. Однако на этом сравнительно небольшом сопротивлении выходная лампа развивает значительно большие, чем другие лампы, переменное напряжение  $U_a$  ~ мощность  $P_{вых}$ . Происходит это за счет большого анодного тока, в частности, большой переменной составляющей  $I_a$  ~. Значительный анодный ток как раз и является особенностью выходных ламп (лист 142).

Указывая величину переменного напряжения или тока, обычно имеют в виду их эффективное значение. Как известно, амплитуда — это наибольшее значение переменного напряжения или тока, которое появляется лишь на мгновение. Эффективное же значение говорит о способности переменного тока совершать работу в среднем за весь период (листы 143, 144). Совершенно очевидно, что эффективное значение тока  $I_{эф}$  или напряжения  $U_{эф}$  меньше амплитудного: ведь амплитуда бывает лишь дважды за весь период, а все остальное время ток значительно меньше и моментами даже становится равным нулю. Для переменного тока, протекающего в сети, эффективное напряжение в 1,4 раза меньше амплитуды. Это значит, что при эффективном напряжении 220 в амплитуда достигает 308 в. Напряжение сети, напряжение на обмотках трансформаторов, токи и напряжения на шкале измерительных приборов всегда указываются в эффективных значениях.

Для нормальной работы усилителя мощности (лист 146) к сетке выходной лампы необходимо подвести управляющее напряжение  $U_{вх}$  в несколько вольт (обычно 3—15 в). В то же время напряжение, которое развивает источник усиливаемого сигнала, оказывается намного меньше: напряжение на выходе большинства звукоснимателей не превышает нескольких

десятых долей вольта. Широко распространенные микрофоны дают напряжение несколько милливольт, напряжение низкой частоты на выходе детектора в простых ламповых приемниках часто также не превышает одного вольта.

Учитывая это, в усилитель НЧ вводят еще один каскад (лист 145), а иногда два-три каскада. Их задача — усилить напряжение сигнала в десять — пятьдесят раз и таким образом довести это напряжение до величины, которая обеспечит нормальную работу выходного каскада.

Анодной нагрузкой в усилителе напряжения, как правило, служит обычное сопротивление. В этом случае подавать переменное напряжение с анода лампы усилителя напряжения прямо на сетку лампы выходного каскада нельзя, так как на аноде, кроме переменного, действует еще и постоянное напряжение. Усиленный сигнал подводится к выходному каскаду через конденсатор (Сс), который, как известно, постоянного тока не пропускает. Этот конденсатор получил название разделительного или переходного (рис. 98).

Рис. 98. Переменное напряжение («возбуждение») на сетку лампы выходного каскада подается с анода лампы усилителя напряжения через разделительный переходный конденсатор.

Давайте посмотрим, из каких соображений выбираются основные элементы усилителя (см. листы 133, 145, а также практическую схему, чертеж 12).

Предположим, что в таком каскаде используется пентод с внутренним сопротивлением 500 ком. В этом случае можно включить в качестве анодной нагрузки  $R_n$  ( $R_{13}$ ) сопротивление порядка 200 ком, то есть в два с половиной раза меньше, чем  $R_i$ . Разделительный конденсатор  $C_c$  ( $C_{28}$ ) вместе с сопротивлением утечки сетки выходного каскада  $R_c$  ( $R_{17}$ ) образуют делитель напряжения, подключенный к сопротивлению анодной нагрузки  $R_n$ . Нижний по схеме конец нагрузки  $R_n$  соединен непосредственно с цепочкой  $R_c C_c$  верхний по схеме конец сопротивления  $R_n$  заземлен через конденсатор фильтра выпрямителя (чертеж 11) и, таким образом, также подключен к цепочке  $R_c C_c$  ( $R_{17} C_{28}$ ). Та часть поступающего с анодной нагрузки усиленного напряжения, которая выделяется на сопротивлении  $R_{17}$  и подводится к сетке усилителя мощности, фактически является выходным напряжением первого каскада  $U_{вых}$ , лист 133).

Общее сопротивление делителя  $R_c C_c$  должно быть достаточно большим, иначе он будет сильно шунтировать сопротивление анодной нагрузки. Обычно  $R_c$  делают в несколько раз больше, чем  $R_n$ . В нашем случае мы можем сделать  $R_{17}$  равным 0,5 Мом, то есть в пять раз больше  $R_{13}$ .

Емкость конденсатора  $C_c$  должна быть достаточно большой, иначе он будет иметь значительное сопротивление на низших частотах и завалит частотную характеристику. Действительно, чем больше емкостное сопротивление конденсатора  $C_c$ , тем большая часть усиленного напряжения теряется на нем, тем меньше будет напряжение  $U_{вых}$  действующее на сопротивлении  $R_c$ .

Наиболее часто встречающиеся данные деталей усилительного каскада приведены на его типовой схеме (лист 145).

К конденсатору  $C_c$  приложено не только переменное, но и постоянное напряжение, действующее на аноде первой лампы. Поэтому конденсатор  $C_c$  должен быть рассчитан на большое напряжение (200–300 в), иначе может произойти пробой — короткое замыкание обкладок — этого конденсатора. В результате пробоя  $C_c$  на сетке выходной лампы появится большое положительное напряжение, возникнет сеточный и резко возрастет анодный ток, из-за чего выходная лампа может выйти из строя (рис. 99).

Рис. 99. Если переходный конденсатор окажется пробитым, то на сетку выходной лампы

попадает «плюс», анодный ток резко возрастет, каскад прекратит работу, а сама выходная лампа выйдет из строя.

В сеточную сеть усилителя напряжения, как правило включают регулятор громкости (рис. 100, 101, лист 147), которые представляет собой обычный делитель напряжения (потенциометр). Кроме того, в усилителях имеются регуляторы тембра которые дают возможность изменять частотную характеристику в зависимости от вкусов слушателя и характера передачи.

Рис. 100. Регулятор громкости — это делитель напряжения, выполненный в виде переменного сопротивления (потенциометр).

Рис. 101. С регулятора громкости на сетку первой лампы подается большая или меньшая часть переменного напряжения, поступающего на вход усилителя.

Простейший регулятор тембра (рис. 102), позволяющий уменьшить усиление на высших частотах, может представлять собой цепь из переменного сопротивления  $RT$  и конденсатора  $CT$ . Конденсатор должен иметь сравнительно небольшое (5—10 ком емкостное сопротивление на высших частотах и большое на низших.

Рис. 102. Простейший регулятор тембра — это цепь, которая в той или иной степени шунтирует анодную нагрузку для токов высших звуковых частот.

Если такую цепь включить между анодом и катодом выходной лампы, то при малом сопротивлении  $RT$  (верхнее по схеме положение движка) токи высших частот будут замыкаться, минуя громкоговоритель, что приведет к соответствующему изменению тембра. При большом сопротивлении (нижнее по схеме положение движка) цепь регулятора тембра практически не будет шунтировать выходную лампу, а это равносильно тому, что регулятор тембра вообще отсутствует.

Принципиальная и монтажная схемы усилителя НЧ, который будет использован во всех наших приемниках, приведена на чертеже 12.

В усилителе имеется два каскада: усилитель напряжения на лампе 6Ж3П или 6Ж1П (Л3) и усилитель мощности на лампе 6П1П (Л4). Входные гнезда усилителя обозначены на схеме буквами Т1 и Т2. Это обозначение перешло из схемы детекторного приемника, где имелись два гнезда для подключения телефонов. При воспроизведении грамзаписей к гнездам Т1, Т2 подключается звукозаписывающее устройство (Зв), а при радиоприеме — нагрузка детектора.

Одно из гнезд (Т2) сразу же соединяется с общим («земляным») проводом, а второе с помощью экранированного провода подключается к регулятору громкости — потенциометру R11.

Экранировка проводов и деталей в сеточной цепи первой лампы необходима для того, чтобы защитить их от электромагнитных полей, которые создает переменный ток (частота 50 гц), проходя по осветительным проводам, по обмоткам силового трансформатора и т. п. Эти электромагнитные поля наводят в соединительных проводах усилителя переменные токи с частотой 50 гц, подобно тому как радиоволны наводят в приемной антенне токи высокой частоты (рис. 103).

Рис. 103. Один из основных источников фона — это напряжение, наведенное сетью переменного тока во входной цепи и усиленное затем всеми каскадами усилителя.

В результате «наводок» в различных цепях усилителя появляются переменные напряжения с частотой 50 гц и величиной в несколько микровольт, а иногда и в несколько десятков милливольт. Конечно, если такое напряжение появится в анодной цепи выходной лампы, то мы этого даже не заметим, так как напряжение полезного сигнала на анодной нагрузке



выходного каскада обычно лежит в пределах от нескольких вольт (слабый сигнал) до 100–150 в. По сравнению с этими величинами напряжение «наводок» настолько мало, что практически совершенно не влияет на работу усилителя.

Другое дело, если «наводки» появляются в цепях с низким уровнем сигнала и, в частности, в сеточной цепи первой лампы. Здесь напряжение полезного сигнала очень мало (именно поэтому мы и ввели усилитель напряжения) — оно обычно лежит в пределах от нескольких милливольт при слабом сигнале до 100–200 мв.

Совершенно ясно, что при слабых сигналах, а особенно во время паузы напряжение «наводок» уже становится сравнимым с самим полезным сигналом, а иногда даже может стать балыке его. Попав на сетку первой лампы, «наводки» усиливаются вместе с полезным сигналом и создают в громкоговорителе очень сильный фон переменного тока.

Основной путь для борьбы с «наводками» — это экранирование. Давайте попробуем между источником «наводок» и цепью, которую нужно защитить, поставить экран — тонкую металлическую пластинку (или сетку), соединенную с земляным проводом. В этом случае электромагнитные волны будут наводить ток в самом экране, а за ним образуется своего рода тень — участок, где «наводок» практически не будет (рис. 104).

Рис. 104. Для борьбы с «наводками» провода входной цепи усилителя нужно экранировать.

Если заранее неизвестно, с какой стороны появятся наводки, то защищаемую цепь окружают экранами со всех сторон. Широкое распространение нашли цилиндрические алюминиевые экраны, внутрь которых помещают контурные катушки и другие детали; у переменных сопротивлений роль экрана выполняет металлический корпус; для того чтобы защитить от наводок обычные провода, их помещают в так называемый экранирующий чулок (рис. 104) — сплетенную из тонких проволочек гибкую трубку. Если под руками нет такого чулка, то поверх изоляции защищаемого провода нужно намотать спираль из любого медного провода, например ПЭ-0,1 или ПЭ-0,5. Эта спираль будет играть роль экрана.

Любой экран, будь то экранирующий цилиндр, корпус переменного сопротивления или самодельный экранирующий чулок, обязательно должен быть заземлен, причем у самодельного экрана для проводов нужно заземлять оба конца спирали.

На схемах детали, заключенные в экран, обводят пунктирной линией; экранированный провод на схемах пропускают сквозь заземленное кольцо.

Интересно отметить, что «наводками», создающими фон, можно пользоваться для проверки усилителей НЧ. Прикоснувшись куском провода, отверткой или просто пальцем к какому-нибудь участку входной цепи первой лампы, например к ее управляющей сетке, мы фактически подадим на вход усилителя наведенное напряжение с частотой 50 гц, и если усилитель исправен, то громкоговоритель воспроизведет сильный фон (рис. 105).

Рис. 105. Иногда «наводки» используют для проверки усилителя: прикоснувшись к какой-нибудь точке входной цепи, мы фактически подаем на вход усилителя «контрольный» сигнал — напряжение «наводок».

Фон появится, но, конечно, очень и очень слабый, и при прикосновении к сетке выходной лампы. Совершенно очевидно, что при проверке батарейных приемников в условиях, где нет сети переменного тока, никакого фона обнаружить не удастся.

Если вы внимательно посмотрите на принципиальную схему нашего усилителя НЧ, то обнаружите, что почти все его элементы вам уже знакомы (листы 145, 146). Возьмем, например, регулятор громкости R11 — это обычный делитель напряжения — потенциометр, с помощью которого можно подавать на сетку лампы ЛЗ ту или иную часть напряжения

входного сигнала. Сопротивление R12 — это обычная «утечка» в цепи управляющей сетки, а конденсатор C27 предохраняет сеточную цепь от постоянного напряжения. Этот конденсатор введен в схему «авансом», так как он понадобится лишь тогда, когда усилитель будет подключен к приемнику.

На сопротивлении R15 создается постоянное напряжение, которое служит отрицательным смещением на сетку лампы Л3. Конденсатор C30 проводит переменную составляющую анодного тока лампы помимо сопротивления R15. В первом каскаде можно подать смещение на сетку и другим путем — исключить из схемы детали R15 и C30, заземлить катод лампы, а в ее сеточную цепь на место R12 включить сопротивление в 10 Мом (лист 138).

Сопротивление R14 — это не что иное, как гасящее сопротивление в цепи экранной сетки. Для переменного тока экранная сетка заземлена через конденсатор C29.

Анодной нагрузкой лампы Л3 является сопротивление R13. С анода лампы через переходной конденсатор C28 усиленный сигнал подается на сетку выходного каскада Л4. Здесь так же, как и в первом каскаде, R17 — сопротивление утечки, а R18C33 — цепь автоматического смещения. В анодную цепь лампы включен выходной трансформатор Тр2, ко вторичной обмотке которого подключен громкоговоритель. Цепочка R16C31 — это простейший регулятор тембра. Если под руками нет конденсатора на 0,025 мкф (C31) с достаточно высоким рабочим напряжением (не менее 500 в), то регулятор тембра можно включить и в сеточную цепь лампы Л3, уменьшив при этом емкость конденсатора C31 в десять — двадцать раз (уточняется опытным путем).

Единственной незнакомой нам пока деталью является конденсатор C32. Назначение его — шунтировать выходной трансформатор для токов высокой частоты и таким образом препятствовать паразитному самовозбуждению усилителя.

Выходной трансформатор Тр2 выполнен на сердечнике сечением 2,56 см<sup>2</sup> — пластины Ш-16, толщина набора 16 мм. Его первичная обмотка содержит 2500 витков провода ПЭ-0,1, а вторичная — 81 виток провода ПЭ-0,51. Сердечник выходного трансформатора, так же как и сердечник дросселя фильтра, собирается «встык» (лист 115). В качестве Тр2 можно использовать выходные трансформаторы от приемников «Рекорд-53», «АРЗ-53», «Огонек» и многих других.

Заканчивая разбор нашей первой ламповой схемы, хочется обратить внимание на возможную замену деталей усилителя.

Начинающие радиолюбители часто задают такие вопросы: «Можно ли заменить сопротивление 50 ком сопротивлением 47 ком?» или «Что будет, если вместо конденсатора емкостью 10 мкф применить конденсатор на 20 мкф?» и т. п.

Для начала заметим, что отклонение данных той или иной детали на 5—10 % в большую или меньшую сторону особого значения не имеет и в большинстве случаев остается незамеченным. Более того, данные многих деталей можно изменить в полтора — три раза, а усилитель по-прежнему будет работать. А теперь поговорим конкретно о деталях нашего усилителя.

Прежде всего несколько слов о допустимой мощности сопротивлений и рабочем напряжении конденсаторов. Величины эти можно изменять как угодно, но... только в сторону увеличения: если нужен конденсатор с рабочим напряжением 20 в (например, C33), то можно применить конденсатор на 30, 50, 100 в и т. д.; вместо сопротивления, рассчитанного на мощность 0,25 вт, можно применить сопротивление на 0,5, 1, 2 вт и т. д. В то же время применять сопротивления с меньшей мощностью или конденсаторы с меньшим рабочим напряжением, чем это указано на схеме, ни в коем случае нельзя. Мощность всех сопротивлений условно показана на схеме (см. условные обозначения, лист 36). Рабочее напряжение указывают

только для электролитических конденсаторов. Конденсаторы бумажные, слюдяные, керамические и др., как правило, могут работать при напряжениях 250 в и более, а этого вполне достаточно почти для всех элементов схемы.

Возможность изменения данных той или иной детали зависит от того, в какой цепи стоит эта деталь и как она влияет на работу усилителя. Так, например, при увеличении или уменьшении сопротивления R12 и R17 на 20–50 % никаких особых изменений в работе усилителя не произойдет. Другое дело, если мы сильно изменим величину сопротивления R15. При этом сразу же изменится отрицательное смещение на управляющую сетку — чем больше R15, тем больше отрицательное смещение. Изменится также анодный ток, падение напряжения на R13, а значит, и напряжение на аноде лампы. Все это может привести к ухудшению усилительных свойств каскада и появлению нелинейных искажений. К уменьшению коэффициента усиления каскада приводит резкое уменьшение (а в ряде случаев и увеличение) сопротивления анодной нагрузки R13 или снижение напряжения на экранной сетке путем увеличения R14. Емкость конденсаторов C29 и C30 и C33 можно увеличивать безболезненно, так как при этом лишь облегчается путь для переменных токов, которые проходят через эти конденсаторы.

Одним словом, данные, приведенные на принципиальных схемах, нельзя считать незыблемыми (рис. 106). В случае необходимости их можно изменять, и иногда весьма значительно. Но всякий раз при изменении данных какой-либо детали нужно думать о последствиях, к которым это изменение может привести.

Рис. 106. Данные деталей, указанные на схеме, можно изменять в небольших, а иногда и в довольно больших пределах.

Несколько слов о налаживании усилителя. Если усилитель собран в полном соответствии с принципиальной схемой и если в нем использованы исправные детали, то этот усилитель сразу же будет нормально работать без всякого налаживания. Две основные неприятности, которые вы можете обнаружить при включении усилителя, — это самовозбуждение и фон переменного тока. Самовозбуждение возникает за счет паразитных обратных связей, и поэтому, обнаружив его, нужно прежде всего попробовать изменить монтаж, разнести входные и выходные цепи всего усилителя и отдельных каскадов. Если это не даст эффекта, то попробуйте увеличить емкость конденсатора C32, включить в сеточную цепь Л4 сопротивление на 10–50 ком (непосредственно между сеточным лепестком и проводом, идущим к сетке от R17) и, наконец, отключить конденсатор C10 или C32. При отключении этих конденсаторов в усилителе возникает отрицательная связь, с которой мы подробнее познакомимся позже. В качестве крайней меры можно снизить усиление первого каскада, уменьшив в два-три раза сопротивление R13 и в полтора-два раза сопротивление R14.

В случае сильного фона нужно прежде всего выяснить его причину. Для этого можно соединить кратчайшим путем сетку первой лампы с ее катодом: если фон не прекратится, то его источником, по-видимому, является выпрямитель.

Наиболее часто источником фона являются наводки. В этом случае нужно прежде всего проверить, хорошо ли соединены с земляным проводом экраны проводов, ось и корпус переменного сопротивления, сердечники выходного и силового трансформаторов, корпус громкоговорителя, один из проводов накала ламп. Иногда источником фона может оказаться даже небольшой проводничок во входной цепи усилителя, не помещенный в экран. В заключение заметим, что устранение самовозбуждения и фона, как, впрочем, и другие работы по наладке радиоаппаратуры, требуют большого внимания, терпения и аккуратности.

Построенный нами усилитель можно сразу же использовать для воспроизведения грамзаписей. Что же касается подключения усилителя к детекторному приемнику, то с этим вопросом мы познакомимся в следующей главе.

## ПРИЕМНИК ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

В ламповых приемниках может усиливаться как низкочастотный сигнал, полученный в результате детектирования, так и высокочастотный сигнал, поступивший в антенну. Совершенно очевидно, что каскады усиления высокой частоты включаются до детектора, а каскады усиления низкой частоты — после него.

Все ламповые приемники можно разделить на две основные группы: приемники прямого усиления, где сигнал только усиливается и детектируется, и супергетеродины, где сигнал не только усиливается, но проходит еще одно очень важное преобразование.

Промышленные радиовещательные приемники в настоящее время строятся только по супергетеродинной схеме. Она позволяет получить высокую чувствительность и избирательность при сравнительно небольшом числе ламп и колебательных контуров. Мы же начнем с простого приемника прямого усиления, так как построить и наладить такой приемник легче, чем супергетеродин.

В радиолюбительской литературе принято сокращенно обозначать тип приемника прямого усиления следующим образом: детектор обозначается буквой V (иногда, желая подчеркнуть тип детектора, указывают другую букву, например, К — кристаллический, то есть полупроводниковый, Д — диодный и т. п.). Цифра, стоящая перед буквой V, указывает число каскадов усиления высокой частоты (ВЧ), а цифра после буквы V соответствует числу каскадов усиления низкой частоты (НЧ).

Так, например, если говорят, что приемник собран по схеме 2-V-1 (2-Д-1), то это значит, в приемнике имеется детектор, два каскада усиления ВЧ и один каскад усиления НЧ. Обозначение 0-V-2 (0-Д-2) соответствует детекторному приемнику с двухкаскадным усилителем НЧ, и т. д.

Необходимо отметить, что число примененных в приемнике ламп не всегда равно числу усилительных каскадов: комбинированная лампа (двойной триод, триод-пентод и др.) может использоваться одновременно в двух каскадах. Кроме того, существуют специальные схемы (рефлексные), позволяющие использовать одну и ту же лампу одновременно в усилителе НЧ и усилителе ВЧ.

Все сказанное выше о построении схем ламповых приемников относится также к приемникам на полупроводниковых триодах.

Приемники без усилителей ВЧ (0-V-1, 0-V-2 и др.) удовлетворительно принимают только местные станции, так как при детектировании слабых сигналов неизбежно возникают искажения. С другой стороны, осуществить громкоговорящий прием без усилителя НЧ тоже нельзя. В этом случае пришлось бы подавать на детектор очень мощный высокочастотный сигнал, а постройка мощных усилителей ВЧ связана с большими трудностями. Обычно к детектору подводится высокочастотный сигнал небольшой мощности и миллионные доли ватта и меньше) при напряжении 0,5–1,5 в. Примерно такую же мощность и напряжение имеет низкочастотный сигнал на выходе детектора. Все дальнейшее усиление, необходимое для того чтобы обеспечить громкоговорящий прием, осуществляется в усилителе НЧ.

Для начала построим приемник 0-V-2, который позволит нам вести громкоговорящий прием местных радиостанций. В этом приемнике мы используем уже имеющийся у нас усилитель низкой частоты, затем введем приемник в каскад усиления ВЧ и получим приемник по схеме 1-V-2, который позволит принимать большее число радиостанций в диапазоне длинных и средних волн. ЕЩЕ РАЗ О ДЕТЕКТОРЕ

С работой детектора мы познакомились еще во второй главе. И, хотя работу детекторного каскада мы рассмотрели тогда упрощенно, все же основная роль самого детектора (вентиля) была определена довольно точно — он преобразует модулированный переменный ток высокой частоты в пульсирующий ток.

Теперь мы уже знаем (см. рис. 79), что всякий пульсирующий ток можно разделить на переменную и постоянную составляющие. Такую операцию можно провести и с пульсирующим током в цепи детектора (рис. 107), собрав для этого простейший фильтр из конденсатора СД и сопротивления RД. Сопротивление RД называют сопротивлением нагрузки детектора. В описанном ранее детекторном приемнике роль сопротивления нагрузки выполняет головной телефон. При соответствующем выборе деталей фильтра переменная составляющая, имеющая высокую частоту — ВЧ составляющая, — пройдет по пути наименьшего сопротивления — через конденсатор СД.

Рис. 107. Полученный в результате детектирования пульсирующий ток можно разделить на три составляющие: постоянную, ВЧ (высокочастотную) и НЧ (низкочастотную). К усилителю низкой частоты подводится только НЧ составляющая.

Казалось бы, что по сопротивлению нагрузки должна пойти постоянная составляющая пульсирующего тока. Однако в действительности это не так. К детектору подводится модулированный сигнал, и поэтому величина импульсов тока в цепи детектора все время меняется. В результате этого ток, который проходит по сопротивлению также меняется в соответствии с модуляцией и фактически представляет собой пульсирующий ток, который, в свою очередь, можно разделить на переменную составляющую низкой частоты — НЧ составляющую и постоянную составляющую.

Для выделения НЧ составляющей в фильтр вводится еще одна цепь, состоящая из конденсатора Сс и сопротивления Rс, которая не пропускает постоянного тока, создает большое сопротивление для ВЧ составляющей, но сравнительно легко пропускает НЧ составляющую. Таким образом, пульсирующий ток, полученный при детектировании, мы разделили на три составляющие: постоянную, высокочастотную и низкочастотную. Последняя как раз и представляет собой тот низкочастотный сигнал, который необходимо было выделить в процессе детектирования.

На чертеже 13 приведены схемы детекторных приемников 0-V-2, в которых используется ранее построенный усилитель НЧ. Эти схемы как бы объединяют двухдиапазонный детекторный приемник (чертеж 2) с усилителем НЧ (чертеж 12).

Для упрощения схемы не изображаются некоторые детали входной цепи (катушки L3L4, подстроечные конденсаторы), а схема усилителя НЧ не приводится вообще. Чтобы легче было объединить детекторный приемник с усилителем НЧ, на всех схемах чертежа 13 показаны некоторые элементы Входной цепи усилителя: R11 R12 C27.

Сопротивление R11 (регулировка громкости усилителя НЧ) используется в качестве нагрузки детектора, конденсатор C27 и сопротивление утечки R12 первой лампы усилителя образуют цепь, которая отделяет низкочастотную составляющую протектированного сигнала от постоянной составляющей (цепь RcCc). Проходя по этой цепи, низкочастотная составляющая создает на сопротивлении R12 напряжение НЧ, действующее между сеткой и катодом первой лампы усилителя.

В каждом усилительном каскаде всегда имеется входная емкость Свх, которая складывается из емкости между входными проводами, емкости монтажа и емкости между управляющей сеткой и катодом лампы (лист 149). Чтобы ВЧ составляющая ИД-вч не прошла через Rн-Д во входную цепь усилителя НЧ (такое «пролезание» может привести к самовозбуждению усилителя НЧ), в детекторный каскад вводят еще одно сопротивление Rф-Д. Это

сопротивление преграждает путь ВЧ составляющей, и она замыкается только через конденсатор С26(СД). Для того чтобы уяснить роль сопротивления R10, представьте себе, что этого сопротивления вообще нет, а движок потенциометра R11 находится в крайнем верхнем по схеме положении (лист 149). В этом случае высокочастотная составляющая протектированного сигнала легко пройдет в сеточную цепь лампы Л3.

Когда же движок потенциометра будет несколько сдвинут вниз, то путь к лампе для ВЧ составляющей затруднится — она должна будет преодолеть сопротивление верхнего участка потенциометра. Таким образом, опасность пролезания ВЧ составляющей на сетку лампы Л3 существует лишь тогда, когда сопротивление верхнего участка потенциометра R11, очень мало, и тем более, когда движок этого сопротивления находится в крайнем верхнем положении. Теперь вы видите, что включенное последовательно с потенциометром R11 сопротивление R10 всегда препятствует пролезанию к сетке первой лампы (Л3) высокочастотной составляющей протектированного сигнала.

Обычно величина сопротивления R10 составляет 10–20 % сопротивления нагрузки детектора (лист 148).

Из всех составляющих протектированного сигнала нам нужно выделить лишь НЧ составляющую, обе другие составляющие (постоянная и ВЧ) являются своего рода «отходами производства». Однако в некоторых схемах, с которыми мы познакомимся позже, и эти составляющие могут быть использованы для улучшения работы приемника.

В нашем приемнике в качестве детектора используется точечный германиевый диод. С равным успехом в детекторном каскаде можно применить и ламповый диод — двухэлектродную лампу.

Здесь уместно заметить, что существуют две основные схемы детекторных каскадов: параллельная и последовательная (рис. 109). В первой из них контур, детектор и нагрузка детектора соединены последовательно, а во второй все эти элементы соединены параллельно. Последовательная схема имеет некоторые преимущества (детектор слабее шунтирует контур), и поэтому там, где возможно, стараются применять ее.

В промышленных приемниках специальную лампу для детектора используют редко. Необходимый для детектирования диод имеется в некоторых усилительных лампах (комбинированные лампы), например в пентоде, а точнее, в диод-пентоде 1Б2П, двойном диод-пентоде 6Б8С, двойном диод-триоде 6Г2С и др. В супергетеродин ном приемнике, который нам предстоит построить, будет использована лампа 6И1П — триод-гептод. Именно для нее мы установили на панели ВЧ (см. чертеж 2) девятиштырьковую ламповую панельку. Триодную часть этой лампы можно временно использовать в качестве диодного детектора, соединив ее управляющую сетку с анодом. В этом случае сетка и анод будут действовать как один электрод, и лампа фактически превратится в диод (рис. 108, 109).

Рис. 108. В детекторе в качестве вентиля можно применить любую усилительную лампу. Чтобы эта лампа не оказалась «запертой», ее управляющую сетку (а если есть другие сетки, то и их тоже) необходимо соединить с анодом, превратив тем самым усилительную лампу в обычный диод.

Рис. 109. Существуют две схемы детекторов: последовательная и параллельная.

Использовать для детектирования только анод и катод лампы, оставив управляющую сетку никуда не подключенной, ни в коем случае нельзя, так как при этом лампа окажется запертой. Попутно нужно отметить, что многоэлектродная лампа — пентод, тетрод или гептод — будет заперта, если не подать питание на экранную сетку или не заземлить антидинаatronную сетку, то есть иными словами, если будет закрыт путь для постоянной составляющей тока какой-либо сетки и попадающие на нее электроны не смогут вернуться к катоду.

Анод работающего в детекторе триода можно было бы вообще никуда не подключать и для детектирования использовать участок катод — управляющая сетка. Последняя в этом случае будет играть роль анода двухэлектродной лампы, а анод триода мы как бы «экономим» (рис. 110).

Рис. 110. Для детектирования можно использовать сеточную цепь лампы (сетка — анод диода), а в анодной цепи выделить усиленный сигнал.

Мы применили триод для детектирования только потому, что в нашем распоряжении не было диода. А нельзя ли воспользоваться этим обстоятельством и сделать так, чтобы триод не только детектировал, но и усиливал сигнал? Оказывается, можно. Для этого достаточно включить анодную нагрузку и подать на анод (конечно, отключив его от сетки!) постоянное напряжение (рис. 110, лист 150). При этом так же, как и раньше, детектирование сигнала будет происходить на участке сетка — катод лампы, в ее сеточной цепи будет протекать пульсирующий ток, который, проходя по сопротивлению нагрузки детектора, создаст на нем соответствующее напряжение. Это напряжение будет управлять анодным током лампы, и в результате этого анодный ток будет изменяться так же, как и ток в цепи детектора. Это значит, что анодный ток можно будет разделить на постоянную, НЧ и ВЧ составляющие, так же как мы это делали с током в цепи детектора.

Благодаря усилительным свойствам лампы с ее анода можно снять переменное напряжение НЧ значительно больше, чем получается на нагрузке детектора в цепи управляющей сетки, то есть в рассматриваемом каскаде происходит не только детектирование, но и усиление сигнала. Детекторный каскад, в котором детектирование осуществляется в сеточной цепи усилительной лампы, а анодная цепь этой лампы используется для усиления низкой частоты, называется сеточным детектором (рис. 111).

Рис. 111. Усиление сигнала в сеточном детекторе происходит так же, как и в обычном усилительном каскаде.

На чертеже 13 показана практическая схема сеточного детектора, собранного на триодной части лампы 6И1П. Применяв этот каскад вместо обычного диодного детектора, можно заметно повысить чувствительность приемника. Входящие в каскад детали имеют то же назначение, что и в обычном детекторе или усилителе НЧ. Для того чтобы ВЧ сигнал не попал на вход усилителя НЧ, в анодную цепь детекторной лампы включен специальный фильтр, состоящий из сопротивления  $R_{10}$ , преграждающего путь ВЧ составляющей анодного тока ко входу усилителя НЧ, и конденсаторов  $C_{26}$  и  $C'_{26}$ , замыкающих ВЧ составляющую анодного тока на катод.

Потенциометр  $R_{12}$  теперь включен непосредственно в сеточную цепь лампы ЛЗ и, таким образом, выполняет роль сопротивления утечки. Поэтому необходимость в постоянном сопротивлении  $R_{12}$  отпала, и его можно из схемы исключить.

Несмотря на то что сеточный детектор дает дополнительное усиление сигнала, он не нашел применения в промышленных приемниках, так как этот детектор создает значительные нелинейные искажения. Одна из причин этих искажений заключается в том, что лампа всегда работает с сеточными токами, так как в противном случае не могло бы осуществляться детектирование сигнала. Что касается диодного детектора, то он работает практически без искажений лишь в том случае, если подводимое к нему высокочастотное напряжение превышает 1–2 в. В то же время напряжение принятого сигнала в антенной цепи (между гнездами «антенна» — «земля») обычно не превышает нескольких сотен и даже десятков микровольт, и только местные мощные станции создают в антенной цепи напряжение в несколько милливольт. Из сказанного следует, что для нормальной работы диодного детектора поступающий в антенну сигнал должен быть усилен во много тысяч раз. Благодаря резонансным свойствам входной контур несколько повышает напряжение сигнала

(практически в пять — пятнадцать раз), однако основное усиление осуществляется ламповыми усилителями ВЧ. УСИЛИТЕЛЬ ВЧ

Прежде всего необходимо отметить, что ламповый усилитель высокой частоты в принципе не отличается от любого другого усилительного каскада. В нем также имеется анодная нагрузка, цепь утечки управляющей сетки и цепь для подачи отрицательного смещения на эту сетку. Экранная сетка лампы соединяется с катодом через конденсатор, и на нее подается положительное напряжение. Некоторое отличие усилителя НЧ связано с тем, что на высокой частоте емкостное сопротивление конденсатора резко уменьшается и поэтому почти во всех цепях усилителя ВЧ: в цепи экранной сетки, в цепи, соединяющей один каскад с другим, и т. п. — используются конденсаторы значительно меньшей емкости, чем в усилителе НЧ.

Усиливаемый сигнал на вход первого каскада усилителя ВЧ обычно подается с входного колебательного контура, который, в свою очередь, связан с антенной. В качестве анодной нагрузки в усилителе ВЧ желательно также использовать контур, настроенный на частоту принимаемой станции: мы уже отмечали, что, чем больше настроенных колебательных контуров, тем лучше избирательность приемника. Кроме того, усилительный каскад с контуром в качестве нагрузки даст намного большее усиление, чем каскад с обычным сопротивлением. Это определяется резонансными свойствами самого контура, а также тем, что катушка  $L_k$  практически не оказывает сопротивления анодному току и не снижает постоянного напряжения на аноде лампы (рис. 112).

Рис. 112. В качестве анодной нагрузки усилителя ВЧ лучше всего применить колебательный контур, настроенный на частоту принимаемой станции.

Возможность использования колебательного контура в качестве анодной нагрузки основана на том, что на резонансной частоте контур, включенный в анодную цепь, ведет себя как обычное сопротивление и, как правило, сопротивление очень большое — десятки и сотни ком. Необходимо указать, что это относится только к параллельному контуру — резонансное сопротивление последовательного контура чрезвычайно мало и обычно составляет несколько ом (листы 151, 152).

Резкое увеличение сопротивления параллельного контура при резонансе упрощенно можно объяснить, рассматривая этот контур как два сопротивления  $x_L$  и  $x_C$ , соединенных параллельно (рис. 113).

Рис. 113. На резонансной частоте параллельный контур ведет себя, как большое сопротивление (для переменного тока).

Как известно, индуктивное сопротивление катушки  $x_L$  и емкостное сопротивление конденсатора  $x_C$  зависят от частоты: с увеличением частоты  $x_L$  растет, а  $x_C$  уменьшается. На низших частотах, а точнее, на частотах ниже резонансной сопротивление катушки  $x_L$  мало по сравнению с  $x_C$  и из-за этого мало и общее сопротивление контура (катушка шунтирует конденсатор). На частотах выше резонансной общее сопротивление контура опять-таки оказывается небольшим из-за уменьшения емкостного сопротивления  $x_C$  конденсатора (конденсатор шунтирует катушку). И лишь на резонансной частоте, когда  $x_C$  равно  $x_L$ , общее сопротивление контура оказывается большим («никто» «никого» не шунтирует). Это сопротивление называется резонансным и обычно обозначается буквой  $R_{0э}$ . Так же как и добротность контура, величина  $R_{0э}$  уменьшается с ростом потерь в контуре. Эквивалентное сопротивление контура, так же как и добротность  $Q$ , зависит от соотношения между  $L_k$  и  $C_k$

Отсюда следует, что, для того чтобы увеличить сопротивление нагрузки усилителя ВЧ, необходимо уменьшать потери в контуре и по возможности применять контур с большой индуктивностью и малой емкостью.

Как мы уже отмечали, принципиально усилитель ВЧ ничем не отличается от любого другого



усилителя, однако у него имеется ряд особенностей, которые необходимо учитывать. Прежде всего, в усилителе ВЧ, как правило, применяются специальные лампы — высокочастотные пентоды (второй элемент, обозначения: буква «К» или «Ж»). Основные достоинства этих ламп — это большое (сотни и тысячи килоом) внутреннее сопротивление и малая емкость между анодом и управляющей сеткой  $C_{ac}$ .

Мы уже говорили о том, что через емкость  $C_{ac}$  в лампе возникает обратная связь (см. рис. 6б): чем выше частота усиливаемого сигнала, тем легче проходит сигнал из анодной цепи в сеточную и тем меньше должна быть емкость  $C_{ac}$ , чтобы она представляла достаточно большое сопротивление для токов ВЧ. Вот почему в усилителях ВЧ и применяются специальные пентоды, у которых емкость  $C_{ac}$  не превышает нескольких тысячных даней пикофарады.

Между прочим, обратная связь возникает не только через междуэлектродную емкость, но и через емкость между лепестками ламповой панели, между деталями и проводами сеточной и анодной цепи и т. д. (лист 153). Поэтому для усилителя ВЧ нужно не только выбирать лампы с малой проходной емкостью, но и монтаж каскада выполнять так, чтобы цепи управляющей сетки и анода были как можно слабее связаны друг с другом.

Другая особенность высокочастотных пентодов — высокое внутреннее сопротивление — имеет большое значение для усилительного каскада, где анодной нагрузкой является колебательный контур. Дело в том, что для переменной составляющей анодного тока контур и лампа соединены параллельно: один конец контура подключен к аноду лампы непосредственно, а другой подключен к катоду (через конденсатор фильтра выпрямителя или анодного развязывающего фильтра). Таким образом, лампу фактически можно рассматривать как сопротивление, шунтирующее контур. Чем больше внутреннее сопротивление лампы, тем слабее она шунтирует контур, тем выше добротность контура.

Для настройки анодного контура на нужную станцию, так же как и для настройки входного контура, переключают контурные катушки (переход с одного диапазона на другой) и изменяют емкость контура с помощью конденсатора переменной емкости (плавная настройка в пределах диапазона). Если в приемнике имеется два контура, то их необходимо перестраивать одновременно. Для этого необходимо иметь два одинаковых комплекта катушек, два переключателя (или сдвоенный переключатель) и два конденсатора настройки (или сдвоенный блок конденсаторов).

Для нас приемник прямого усиления является лишь ступенью для освоения супергетеродина. Поэтому мы соберем усилитель ВЧ с одним контуром, хотя, используя имеющийся в нашем распоряжении переключатель и блок конденсаторов настройки, а также изготовив еще две катушки, мы вполне могли бы ввести в приемник и второй настраиваемый контур.

Настраиваемый колебательный контур можно включить в сеточную цепь лампы, а в качестве анодной нагрузки использовать высокочастотный дроссель или обычное сопротивление величиной 5—50 ком (см. лист 154,а). Можно поступить и наоборот: включить контур в анодную цепь лампы в качестве нагрузки, а в сеточную цепь включить обычное сопротивление утечки или дроссель (лист 154,б).

Передачу усиленного сигнала из анодной цепи усилителя ВЧ к следующему каскаду, например к детектору, можно осуществить несколькими способами. Проще всего использовать для этой цели разделительный конденсатор  $C_s$ , как мы это делали в усилителе НЧ. Емкость конденсатора в этом случае будет составлять 50—200 пф, и этого вполне достаточно для того, чтобы практически беспрепятственно пропустить токи высокой частоты. Вспомните, что в усилителе НЧ для этой цели нужно было брать конденсаторы с емкостью в несколько десятков тысяч пикофарад!

Связь с усилителем ВЧ может осуществляться с помощью специальной катушки  $L_{св}$  (лист 155,в). В этом случае напряжение, которое можно получить на выходе каскада, будет сильно зависеть от того, насколько сильно связаны общим магнитным полем катушки  $L_k$  и  $L_{св}$ , то есть фактически от расстояния между ними.

На первый взгляд может показаться, что, чем ближе одна катушка к другой, тем больше напряжение на выходе каскада (рис. 114).

Рис. 114. Передача сигнала с контура (анодная нагрузка) может осуществляться помощью специальной катушки связи.

В действительности же это не совсем так. Если катушки находятся на большом расстоянии, то при сближении их напряжение на выходе действительно будет увеличиваться. Однако в дальнейшем может наступить такой момент, когда рост напряжения прекратится и, даже более того, оно начнет уменьшаться (рис. 115).

Рис. 115. Чем ближе катушка связи к катушке контура, тем больше сигнал, подводимый к детектору. Однако при чрезмерном сближении этих катушек напряжение на выходе усилителя ВЧ начнет падать из-за дополнительных потерь в контуре.

Связано это с тем, что в результате увеличения степени связи между контурной катушкой  $L_k$  и  $L_{св}$  растёт энергия, которая отбирается из контура, а это равносильно тому, что растёт сопротивление потерь в контуре  $R_k$  и падает добротность  $Q$ . Правда, здесь говорить о потерях не совсем правильно, так как энергия, потребляемая из контура, передается в следующий каскад. Однако для контура это не имеет значения — раз энергия потребляется, значит, есть потери, снижающие добротность контура.

Если увеличивать связь между  $L_k$  и  $L_{св}$ , сближая эти катушки, то вначале добротность ухудшается незначительно. Однако при очень сильной связи между катушками добротность контура может ухудшиться настолько сильно, что выходное напряжение  $U_{вых}$  уменьшится (рис. 115). Связь между катушками, при которой выходное напряжение (а значит, и усиление каскада) оказывается максимальным, называется оптимальной, наивыгоднейшей связью. Практически оптимальную связь подбирают так: сближают катушки  $L_k$  и  $L_{св}$  и следят за уровнем сигнала на выходе приемника. Если громкость передачи возрастает, то значит, мы приближаемся к оптимальной связи. Следует помнить, что степень связи между катушками зависит от частоты. Если оставить катушки неподвижными и увеличивать частоту усиливаемого сигнала, то степень связи будет увеличиваться. Учитывая это, оптимальную связь обычно подбирают для среднего участка диапазона и мирятся с тем, что на более низких частотах связь будет несколько слабее, а на более высоких — сильнее оптимальной.

На чертеже 14,а, б (стр. 280) приведены схемы усилителя ВЧ, выполненные на гептодной части лампы 6И1П. Вторая управляющая сетка лампы, которая понадобится лишь в с у пер гетер один ном приемнике, временно соединена с катодом.

В первой схеме настраивающийся колебательный контур включен в цепь управляющей сетки, а во второй — в анодную цепь. Данные контуров, а также подключение их к переключателю диапазонов остаются такими же, как и в детекторном приемнике (см. чертеж 2). В обоих случаях после усилителя ВЧ включен детектор, собранный на триодной части лампы 6И1П в первом случае по последовательной, а во втором — по параллельной схеме.

Все детали, которые можно встретить в усилителе ВЧ, уже знакомы нам. Это защитный конденсатор  $C_1$ ; конденсатор связи с антенной  $C_1'$ ; развязывающий фильтр  $R_5C_9$ , преграждающий путь высокочастотной составляющей анодного тока в общие цепи питания ламп; сопротивление нагрузки детектора  $R_{11}$  дополнительным сопротивлением  $R_{10}$  преграждающим путь ВЧ составляющей продетектированного сигнала на вход усилителя НЧ; гасящее сопротивление и конденсатор развязки  $R_4C_8$ , в цепи экранной сетки; переходной

конденсатор С26, который в схеме а пропускает к детектору высокочастотный ток с анода лампы усилителя ВЧ и в то же время предохраняет детектор от попадания постоянного анодного напряжения, и др.

Единственная деталь, с которой мы еще незнакомы, это конденсатор С'5 в схеме б. Если этот конденсатор исключить, то на статорные пластины конденсатора настройки С5, с анода лампы будет попадать высокое постоянное напряжение. В этом случае при случайном замыкании статорных и роторных пластин источник окажется замкнутым на «землю» через катушку L2 или L4 и сопротивление развязки L5. В результате по этому сопротивлению пойдет большой ток, оно перегреется и выйдет из строя. Попутно заметим, что сопротивления анодных развязывающих фильтров и гасящие сопротивления в цепи экранных сеток выходят из строя при пробое конденсаторов, соединяющих эти сопротивления с шасси.

Конденсатор С'5 предохраняет конденсатор настройки С5 от попадания постоянного анодного напряжения. Поскольку даже максимальная емкость конденсатора настройки во много раз меньше, чем емкость конденсатора С'5, то этот конденсатор на резонансную частоту контура практически не влияет (конденсаторы соединены последовательно, и их общая емкость примерно равна наименьшей из емкостей — лист 89).

Для того чтобы было яснее, каким образом колебательный контур оказывается включенным в анодную цепь в качестве нагрузки, напомним, что ротор конденсатора С5 соединен с земляным проводом и, таким образом, через конденсатор С9 оказывается подключенным к верхним (по схеме) выводам катушек L2 и L4. Верхние выводы обеих катушек соединены вместе, а один из нижних выводов подключается к аноду лампы с помощью переключателя диапазонов. Другая секция переключателя коммутирует катушки связи.

В качестве дросселя Др1 можно использовать любую контурную катушку длинноволнового или средневолнового диапазона. Можно изготовить дроссель самому на любом из каркасов, описанных ранее (см. чертежи 4, 5, а, б, в, г, д). При наличии сердечников число витков дросселя выбирается в пределах 80—150 (провод ПЭ-0,1—0,2). На каркасе без сердечника дроссель наматывают между двумя картонными щечками. В этом случае его обмотка должна содержать 100—250 витков того же провода.

В крайнем случае вместо дросселя можно использовать обычное сопротивление 20—30 ком. При включении этого сопротивления в анодную цепь необходимо увеличить в 2—3 раза сопротивление в цепи экранных сетки. При этом, однако, снижается усиление каскада. Особенно нежелательно заменять дроссель сопротивлением в сеточной цепи (чертеж 14, б), так как возможно резкое увеличение фона. Это объясняется тем, что дроссель практически закорачивает входную цепь для токов с частотой 50 гц (частота напряжения сети), так как его сопротивление для низких частот очень мало. В то же время на сопротивлении может появиться значительное напряжение, создающее фон. (Закон Ома:  $U = I \cdot R$ ; чем больше  $R$ , тем больше  $U$ .)

В обеих схемах сопротивление R5 и конденсатор С9 — это так называемый развязывающий фильтр. Его вводят для того, чтобы переменная составляющая анодного тока не проходила по сравнительно длинным проводам питания, а замыкалась на «землю» вблизи усилительного каскада. Подобные фильтры можно часто встретить в анодных, экранных и сеточных цепях усилительных каскадов. В некоторых случаях оказывается возможным отказаться от применения развязывающих фильтров, несмотря на то что они указаны на схеме. Иногда же, наоборот, для того чтобы устранить самовозбуждение, приходится вводить развязывающие фильтры даже там, где на схеме их нет. Несколько примеров развязывающих фильтров показано на рисунке 116.

Основное правило при выборе деталей Rф и Сф состоит в том, что емкостное сопротивление конденсатора Сф, для самой низкой из частот, должно быть во много раз меньше, чем

сопротивление Rф. Вспомогательная таблица для выбора, элементов фильтра приведена на рисунках 116 и 81.

Рис. 116. В различных узлах радиоаппаратуры можно встретить развязывающий RC фильтр — простейшую цепь, разделяющую постоянный и переменный ток.

Во всех рассмотренных нами схемах усилителей ВЧ применена так называемая последовательная схема питания анодной цепи (лист 156), где постоянное напряжение на анод подается через контурную катушку. Наряду с этим существует и параллельная схема, где постоянное напряжение на детали контура не попадает.

Обе приведенные на чертеже 14 практические схемы усилителя ВЧ примерно одинаковы, и все же предпочтение можно было бы отдать первой схеме, так как контур здесь не шунтируется внутренним сопротивлением лампы и не нагружен таким значительным потребителем энергии, каким является детектор.

Однако, несмотря на это, в нашем приемнике мы соберем усилитель ВЧ с контуром в цепи анода (схема «б») Это позволит нам резко улучшить чувствительность и избирательность приемника за счет использования положительной обратной связи. ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Мы уже несколько раз упоминали об обратной связи в усилительном каскаде. Сейчас настал момент поговорить о ней более подробно.

Напряжение на сетке лампы управляет анодным током и тем самым влияет на анодное напряжение. Иными словами, цепь управляющей сетки связана с анодной цепью через электронный поток, и эта нормальная, прямая связь между сеткой и анодом лежит в основе усилительных свойств лампы. Но в усилительном каскаде может возникнуть и обратная связь, то есть обратное влияние анода на управляющую сетку.

Часто обратная связь возникает помимо нашего желания (например, через источники питания, через проходную емкость лампы или из-за близкого расположения анодных и сеточных цепей), и при этом она может сильно ухудшить работу приемника или усилителя.

Однако во многих случаях мы умышленно создаем в усилительном каскаде обратную связь и с ее помощью улучшаем работу каскада, например, снижаем искажения в усилителе НЧ или повышаем избирательность усилителя ВЧ.

В этом отношении обратная связь чем-то напоминает огонь, который при умелом обращении с ним может сделать много полезных дел. Но огонь может стать страшным злом, если потерять над ним контроль.

Влияние обратной связи на работу каскада прежде всего зависит от того, как взаимодействует напряжение, поступившее на сетку из анодной цепи (напряжение обратной связи  $U_{oc}$ ), с усиливаемым сигналом  $U_{вх}$ , поступившим на сетку с предыдущего каскада.

Если оба эти напряжения действуют «согласованно», то есть если их положительные полупериоды, как и отрицательные, наступают одновременно, то обратная связь называется положительной. Если же напряжение обратной связи противодействует напряжению усиливаемого сигнала, то обратная связь называется отрицательной (см. рис. 117).

Рис. 117. Для улучшения работы усилителя часто специально вводят обратную связь — часть энергии из анодной цепи передают в сеточную. Обратная связь может быть положительной (переменное напряжение на сетке возрастает) или отрицательной (переменное напряжение на сетке уменьшается).

Поясним все это примерами. Предположим, что в усилителе без обратной связи на сетку

подается переменное напряжение  $U_{вх}$  с амплитудой 10 в. Введем слабую отрицательную обратную, которая создает на сетке переменное напряжение  $U_{ос}$  с амплитудой 1 в. Поскольку обратная связь отрицательна, то напряжение на сетке  $U_c$  уменьшается до 9 в ( $10 \text{ в} - 1 \text{ в} = 9 \text{ в}$ ). Усилим обратную связь настолько, чтобы амплитуда напряжения  $U_{ос}$  равнялась бы 3 в. Это приведет к дальнейшему уменьшению результирующего напряжения до 7 в ( $10 \text{ в} - 3 \text{ в} = 7 \text{ в}$ ).

Теперь подадим на сетку напряжение положительной обратной связи  $U_{ос}$  с такими же амплитудами. Поскольку при положительной обратной связи напряжения  $U_{вх}$  и  $U_{ос}$  складываются, то результирующее напряжение  $U_c$  будет составлять соответственно 11 в и 13 в ( $10 \text{ в} + 1 \text{ в}$  и  $10 \text{ в} + 3 \text{ в}$ ).

Попутно заметим, что при введении обратной связи всегда отбирается энергия из анодной цепи лампы и передается в ее сеточную цепь. Однако сам отбор этой энергии почти не влияет на процессы в анодной цепи, так как для создания обратной связи, как правило, нужна очень небольшая мощность — всего несколько процентов полезной выходной мощности каскада.

Существует много схем обратной связи. Некоторые из них упрощенно показаны на листах 157, 158.

В одной из приведенных схем (б) напряжение обратной связи создается на сопротивлении  $R_k$  при прохождении по-нему переменной составляющей анодного тока. Переменный анодный ток создает на сопротивлении  $R_k$  переменное падение напряжения, которое действует между катодом и шасси, то есть фактически подается на управляющую сетку (лист 137). Так и осуществляется влияние анодной цепи на сеточную, то есть обратная связь между этими цепями. Напомним, что когда сопротивление было зашунтировано конденсатором, то переменная составляющая анодного тока проходила помимо сопротивления  $R_k$ , переменного напряжения на нем не возникало, и поэтому обратная связь отсутствовала. Обратная связь в этом случае всегда получается отрицательной, и это легко пояснить примером.

Предположим, что на сетке увеличивается положительное напряжение  $U_{вх}$  и это, как обычно, увеличивает анодный ток. При этом возрастает и напряжение  $U_k$ , которое анодный ток  $I_a$  создает на сопротивлении  $R_k$  ( $U_k = I_a \cdot R_k$  — закон Ома!). Поскольку «плюс» напряжения  $U_k$  приложен к катоду, а «минус» к сетке, то с увеличением этого напряжения анодный ток будет уменьшаться (чем больше «минус» на сетке, тем меньше анодный ток!). Из всего этого следует, что с увеличением положительного напряжения  $U_{вх}$ , которое «стремится» увеличить анодный ток, возрастает и отрицательное напряжение обратной связи  $U_k$ , ( $U_{ос}$ ), которое «стремится» уменьшить анодный ток. Иными словами, оба эти напряжения действуют «друг против друга», а значит, обратная связь отрицательна. Чем больше сопротивление  $R_k$ , тем больше и напряжение обратной связи, или, как говорят иначе, тем сильнее, глубже обратная связь.

В другой схеме (а) сопротивление утечки  $R_c$  и емкость  $C_{ос}$  (это может быть междуэлектродная емкость или специально включенный конденсатор) образуют делитель напряжения, и часть переменного анодного напряжения действует на сопротивлении  $R_c$ , то есть между сеткой и катодом. Это и есть напряжение обратной связи. Оно будет тем больше, чем выше частота усиливаемого сигнала и чем больше емкость  $C_{ос}$ , то есть чем меньше сопротивление верхнего участка делителя ( $x_c$ ). В данном случае обратная связь может быть как положительной, так и отрицательной — это зависит от многих факторов и в том числе от частоты усиливаемого сигнала.

В некоторых случаях обратная связь осуществляется с помощью специальной катушки обратной связи  $L_{ос}$  (лист 158), которая располагается вблизи контурной катушки  $L_k$ . Здесь легко можно изменить характер обратной связи, то есть установить положительную или отрицательную обратную связь.

Для этого достаточно поменять местами концы катушки  $L_{oc}$  или контурной катушки  $L_k$  или же повернуть одну из катушек вверх «дном», то есть на 180 градусов. Степень связи зависит от соотношения числа витков катушек  $L_k$  и  $L_{oc}$  и от расстояния между этими катушками: при сближении катушек обратная связь усиливается.

Обратная связь может охватывать сразу несколько каскадов. Так, например, в усилителях НЧ иногда вводят обратную связь между анодной цепью выходного и сеточной цепью первого каскада.

Вы, очевидно, помните, что при детектировании, наряду с полезным низкочастотным сигналом, появляются «отходы производства» — постоянная и высокочастотная составляющие. Поскольку сеточный детектор не только детектирует, но и усиливает, то в его анодной цепи мы получим высокочастотную составляющую более мощную, чем в цепи сетки. До сих пор этот высокочастотный сигнал пропадал у нас напрасно — он сразу же замыкался на «землю» через конденсатор фильтра Сф-вч, (Сф-Д, см. лист 150 и рис. 111).

Теперь мы попробуем использовать высокочастотную составляющую — создадим положительную обратную связь и часть бесполезно пропадавшей высокочастотной энергии из анодной цепи детектора направим в его сеточную цепь, а точнее, в колебательный контур (лист 162).

Во всяком контуре неизбежно существуют потери энергии. Как мы уже говорили, эти потери удобно характеризовать сопротивлением  $R_k$  (не путайте с катодным сопротивлением), включенным последовательно с катушкой и конденсатором.

Чем больше  $R_k$ , то есть чем больше потери в контуре, тем хуже его добротность и «тупее» резонансная кривая, тем меньше напряжение, действующее на контуре при резонансе.

Благодаря положительной обратной связи в контур поступает дополнительная энергия, которая компенсирует потери в нем, что равносильно уменьшению сопротивления  $R_k$ . Чем сильнее положительная обратная связь, тем в большей степени скомпенсированы потери в контуре, тем выше его добротность и острее резонансная кривая, тем больше напряжение сигнала, действующее на контуре (рис. 118).

Рис. 118. Положительная обратная связь компенсирует потери в контуре. Чем сильнее обратная связь, тем меньше реальное сопротивление потерь, тем выше добротность контура.

Таким образом, положительная обратная связь улучшает избирательность и повышает чувствительность приемника. Положительная обратная связь может применяться не только в сеточном детекторе, где ВЧ составляющая ранее не использовалась, но и в усилителе ВЧ, где некоторую часть энергии усиленного сигнала можно безболезненно направить во входной контур для компенсации потерь в нем.

Сеточный детектор с положительной обратной связью называют регенеративным детектором. Слово «регенерация» (восстановление, восполнение) в данном случае относится к компенсации потерь в контуре, к восполнению теряемой в нем энергии.

Работа регенеративного детектора или усилителя ВЧ очень сильно зависит от степени положительной обратной связи: при слишком слабой связи добротность контура увеличится незначительно, при чрезмерно сильной связи регенеративный детектор начинает генерировать, то есть сам становится источником высокочастотного напряжения (рис. 119).

Рис. 119. При слишком сильной обратной связи потери компенсируются полностью, в контуре возникают незатухающие колебания, и усилитель превращается в генератор.

Последнее можно объяснить следующим образом. При сильной обратной связи создаются условия для полной компенсации сопротивления потерь  $R_k$ , и достаточно малейшего толчка напряжения на конденсаторе  $C_k$  или тока в катушке  $L_k$ , чтобы в контуре начались незатухающие колебания, то есть чтобы регенеративный детектор превратился в генератор. Практически появление генерации можно определить по сильному «свисту», на фоне которого иногда с большими искажениями прослушивается принимаемая станция.

В регенеративном детекторе желательно установить достаточно сильную положительную обратную связь (чем сильнее эта связь, тем выше добротность контура), но в то же время нельзя допустить появления генерации.

К сожалению, на степень, или, как обычно говорят, глубину, обратной связи сильно влияет много различных факторов: глубина обратной связи зависит от питающих напряжений, от силы принимаемого сигнала и от его частоты: с повышением частоты обратная связь усиливается. Поэтому в приемнике прямого усиления нельзя раз и навсегда установить наиболее выгодную обратную связь, а приходится в каждом отдельном случае подбирать ее.

Для регулирования обратной связи в приемнике имеется отдельный орган управления, чаще всего переменное сопротивление, изменяющее режим каскада, или конденсатор переменной емкости (рис. 120, листы 160, 161, 162).

Попутно заметим, что регенеративный детектор или усилитель ВЧ с положительной обратной связью нельзя использовать в качестве первого каскада приемника, так как при регулировании обратной связи приемник может превратиться в передатчик, создающий сильные радиопомехи.

На чертеже 15 показаны принципиальная и монтажная схемы высокочастотной части двухдиапазонного приемника прямого усиления 1-V-2 с регенеративным детектором. В приемнике используются те же детали, что и в детекторном приемнике.

Катушки  $L_1$  и  $L_3$  которые раньше включались в антенную цепь, сейчас используются для получения положительной обратной связи. Число витков этих катушек следует уменьшить в пятнадцать — двадцать раз по сравнению с данными, приведенными на чертежах 4 и 5. Правильность подключения катушек  $L_1$  и  $L_3$  определяется опытным путем. Для регулировки обратной связи при настройке на принимаемую станцию используется переменное сопротивление  $R_{32}$ , которое ранее использовалось в цепи регулировки тембра ( $R_{16}$ ). С помощью этого сопротивления можно изменять постоянное напряжение на аноде лампы детектора ( $R_{32}$  вместе с  $R'_{32}$  образует делитель напряжения). При этом изменяется усиление регенеративного детектора, а следовательно, и глубина обратной связи.

Почти все детали приемника уже знакомы нам. Следует лишь еще раз обратить внимание на каскад сеточного детектора с положительной обратной связью. С анодной нагрузки усилителя ВЧ (контур  $L_2C_5$  или  $L_4C_5$ ) высокочастотный сигнал через переходной конденсатор  $C_{26}$  подается на сетку детекторного каскада (триодная часть лампы  $\Pi_1$ ). Детектирование осуществляется в сеточной цепи лампы, и нагрузкой детектора служит сопротивление  $R_{11}$ . Как мы уже отмечали, в анодной цепи сеточного детектора существует и высокочастотная и низкочастотная составляющие усиленного сигнала. В соответствии с этим в анодную цепь включаются два сопротивления нагрузки:  $R'_{24}$  для ВЧ составляющей и  $R''_{24}$  для НЧ составляющей.

Непосредственно с анода лампы через разделительный конденсатор  $C'_{26}$  высокочастотная составляющая подается на катушки обратной связи  $L_1$  или  $L_3$ .

В процессе налаживания приемника ориентировочно устанавливается необходимая обратная связь подбором емкости конденсатора  $C'_{26}$  и сопротивления  $R'_{24}$ , которое играет роль анодной нагрузки для ВЧ составляющей. При настройке приемника на станцию в каждом

отдельном случае нужно подбирать наивыгоднейшую обратную связь с помощью сопротивления R32.

Распайка выводов контурных катушек и катушек обратной связи показаны на чертеже 8. Схема аналогичного приемника с питанием от батарей приведена на чертеже 14,в.

Используя отдельные узлы, схемы которых приведены на чертежах 13, 14, 15, можно собрать приемник прямого усиления по нескольким различным схемам: с разными усилителями ВЧ или вообще без них, с различными детекторными каскадами. Наиболее высокой чувствительностью и избирательностью будет обладать приемник 1-V-2 с регенеративным детектором. Правда, у этого приемника имеется серьезный недостаток — сложность настройки на станцию. Это связано с тем, что, кроме настройки, в резонанс колебательного контура необходимо еще и подобрать наивыгоднейшую обратную связь. Особенно осложняется настройка на более высоких частотах, например в начале средневолнового диапазона. На коротких волнах регенеративный детектор работает крайне неустойчиво, а настройка на станцию приемника с таким детектором очень затруднена. По всем этим причинам приемники с регенерацией уже много лет не выпускаются промышленностью.

Если же отказаться от положительной обратной связи, то в приемнике прямого усиления трудно будет получить удовлетворительную чувствительность и избирательность. Для этого нужно иметь сложнейший блок конденсаторов и очень большое количество катушек (рис. 121).

Рис. 121. В приемнике прямого усиления с многокаскадным усилителем ВЧ все контуры необходимо настраивать на частоту принимаемой станции, а для этого нужно иметь громоздкий блок конденсаторов, большое число катушек и сложный переключатель.

Но и при использовании большого числа контуров избирательность и чувствительность приемника прямого усиления будут резко ухудшаться с увеличением частоты и на КВ диапазоне станут совершенно неудовлетворительными. Одна из причин ухудшения избирательности состоит в том, что при переходе на средние и особенно на короткие волны приходится уменьшать индуктивность катушек, а при этом уменьшается добротность контуров (лист 77). Из-за уменьшения индуктивности катушек падает и эквивалентное сопротивление контуров  $R_{0э}$ , используемых в качестве анодной нагрузки (лист 152), а следовательно, и усиление высокочастотных каскадов.

Большинство недостатков приемника прямого усиления сравнительно просто устраняется в супергетеродине, с работой которого мы познакомимся в следующей главе.

## Глава 7

### СУПЕРГЕТЕРОДИН

В предыдущей главе мы познакомились со схемой и устройством приемника прямого усиления и одновременно отметили ряд серьезных недостатков этого приемника. Один из недостатков состоит в том, что избирательность приемника по соседнему каналу резко ухудшается с увеличением частоты принимаемой станции. Так, например, если приемник с двумя контурами средней добротности ( $Q = 50$ ) на длинных волнах ослабляет сигнал соседней мешающей станции в десять — сто раз, то на средних волнах такой приемник ослабляет соседнюю станцию всего в три — пять раз. Что же касается коротких волн, то здесь приемник прямого усиления практически вообще не обладает избирательностью по соседнему каналу, то есть не может отделить сигнал нужной нам принимаемой станции от сигналов соседних станций.

Все это объясняется тем, что с повышением частоты контуры все «труднее» различать две соседние станции, так как разница в частотах этих станций — 10 кгц — становится все



меньше и меньше по сравнению с резонансной частотой контура. По сравнению с частотами длинноволнового диапазона (150—420 кгц) различие в 10 кгц оказывается значительным: частоты соседних станций отличаются одна от другой на 2—7 %. На средних волнах (520—1600 кгц) отличие между частотами соседних станций значительно меньше — около 0,7—2 %. Что же касается коротковат нового диапазона (4—12,5 мгц), то здесь различие между частотами соседних станций по сравнению с рабочими частотами станций составляет всего лишь 0,08—0,2 %.

Есть у приемника прямого усиления еще один недостаток: на средних и особенно на коротких волнах в таком приемнике трудно получить хорошую чувствительность. Одна из причин этого состоит в том, что с повышением частоты усиливается действие «паразитных» обратных связей. Так, например, с повышением частоты усиливается обратная связь через между электродную проходную емкость  $C_{ac}$  и через емкость между анодными и сеточными цепями лампы усилителя высокой частоты. Для того чтобы предотвратить возможное самовозбуждение усилителя ВЧ, приходится искусственно снижать его усиление.

Несколько недостатков приемника прямого усиления обусловлено тем, что в процессе настройки этого приемника на станцию приходится перестраивать все имеющиеся в нем контуры. При изменении емкости конденсаторов настройки меняется добротность контуров, так как меняется соотношение между индуктивностью и емкостью контура. Из-за изменения добротности чувствительность и избирательность приемника также резко изменяются в пределах диапазона.

Если для получения хорошей избирательности в приемнике прямого усиления используется несколько колебательных контуров (чем больше контуров, тем лучше избирательность приемника), то для их настройки необходимо иметь сложный блок конденсаторов переменной емкости. Представьте себе пятиконтурный приемник. Ведь в нем нужно иметь блок конденсаторов с пятью отдельными секциями, а также пять комплектов катушек каждого диапазона, переключаемых весьма сложным переключателем.

От многих из перечисленных недостатков свободен приемник прямого усиления с фиксированной настройкой на одну заранее выбранную станцию («эфирная радиоточка»). Поскольку все контуры такого приемника всегда настроены на одну и ту же частоту, то в них применяются конденсаторы постоянной емкости, а катушки включены и настроены раз и навсегда. Это облегчает использование в приемнике с фиксированной настройкой большого числа контуров. А если еще такой приемник настроен на станцию, работающую на сравнительно небольшой частоте, например на длинных волнах, то в нем легко получить и высокую избирательность и хорошую чувствительность. Мы уже говорили, что на длинных волнах контуру намного легче ослабить мешающую станцию, чем на средних или коротких волнах.

Вы можете удивиться: зачем мы расхваливаем «эфирную радиоточку»? Ведь прием одной радиостанции мало кого из радиолюбителей устроит! Но хвалили мы приемник с фиксированной настройкой не напрасно. Дело в том, что, применив сравнительно простое приспособление, можно сделать так, что этот приемник, сохраняя все свои преимущества, будет принимать большое число станций, работающих на длинных, средних и коротких волнах. Такое приспособление, позволяющее превратить «эфирную радиоточку» во всеволновый приемник с плавной настройкой, называется преобразователем частоты. Приемник с фиксированной настройкой вместе с преобразователем частоты и образуют высококачественное приемное устройство, получившее название «супергетеродин».

Смысл этого названия пояснить довольно трудно. Дело в том, что сравнительно давно был предложен так называемый гетеродинный метод радиоприема, который позволил получить более высокие результаты, чем с обычными приемниками прямого усиления. Затем гетеродинный приемник был усовершенствован, в результате чего появился новый

замечательный тип радиоприемника, который и был назван «супергетеродин», что в переводе означает «намного лучше гетеродинного», а точнее, «сверхгетеродин».

Но дело, конечно, не в названии. Как бы ни назывался приемник, выполненный по супергетеродинной схеме, он и в наше время остается самым совершенным типом радиоприемного устройства. ПЕРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ — ОСНОВА СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМА

В самой различной радиоаппаратуре важнейшую роль играют так называемые нелинейные процессы, к числу которых относятся уже знакомые нам детектирование, модуляция, выпрямление переменного тока, а также усиление сигнала в случае, когда появляются нелинейные искажения. Основным признаком всякого нелинейного процесса является изменение формы электрического сигнала, в результате чего в этом сигнале и появляются новые составляющие (рис. 77, 88, 107). Так, например, при детектировании и выпрямлении переменного тока форма сигнала резко изменяется — переменный ток превращается в пульсирующий. При этом появляется возможность выделить низкочастотную (детектирование) или постоянную (выпрямление) составляющую сигнала. Изменяется форма сигнала в результате нелинейных искажений и в усилителе низкой частоты. Появляющиеся при этом новые составляющие воспринимаются нами в виде посторонних шумов и хрипов, искажающих передачу.

Нелинейный процесс можно получить лишь в том случае, если в цепи имеется какой-либо элемент, изменяющий форму сигнала (нелинейный элемент), например полупроводниковый или вакуумный диод, электронная усилительная лампа, работающая в определенном режиме, полупроводниковый триод и др. В обычных электрических цепях, не искажающих форму сигнала, нам никогда не удалось бы осуществить ни модуляцию, ни детектирование, ни выпрямление переменного тока.

К числу нелинейных процессов относится и преобразование частоты, которое лежит в основе работы супергетеродинного приемника.

Если к нелинейному элементу, например к полупроводниковому диоду или электронной лампе, одновременно подвести два электрических сигнала с разными частотами, то в цепи этого элемента появятся самые различные составляющие каждого из этих сигналов. Среди них будет и переменная составляющая разностной или, как ее еще называют, промежуточной частоты. Такое название эта составляющая получила потому, что ее частота численно равна разности частот двух сигналов, подведенных к нелинейному элементу. Так, например, если к диоду подвести сигналы с частотами  $f_1 = 1800$  кгц и  $f_2 = 1300$  кгц, то в цепи диода появится новая переменная, составляющая с разностной (промежуточной) частотой  $f_{пр} = 1800 - 1300 = 500$  кгц. Выделить эту составляющую можно с помощью обычного колебательного контура  $L_{пр}C_{пр}$ , настроенного на частоту 500 кгц.

Появление сигнала промежуточной частоты можно упрощенно объяснить с помощью графиков (рис. 122, 123).

Рис. 122. Если подключить к какой-либо цепи два генератора с двумя различными частотами  $f_1$  и  $f_2$ , то из общего тока можно будет выделить только две составляющие  $I_1$  и  $I_2$  с частотами  $f_1$  и  $f_2$ .

Рис. 123. Однако, если в цепь включить нелинейный элемент, например полупроводниковый диод или электронную лампу, то произойдет преобразование частоты (своего рода нелинейное искажение), кроме  $I_1$  и  $I_2$  в цепи появятся новые составляющие и в том числе составляющая  $I_{пр}$  с разностной (промежуточной) частотой  $f_{пр}$ , которую можно выделить с помощью контура.

Протекая в общей цепи, переменные токи  $I_1$  и  $I_2$  различных частот  $f_1$  и  $f_2$  суммируются. В

некоторый момент времени  $t_1$  оба тока протекают в одном и том же направлении, и амплитуды их складываются. Но постепенно положительная амплитуда тока  $I_2$  с меньшей частотой  $f_2$  будет все больше и больше «запаздывать», и наконец наступит момент  $t_2$ , когда оба тока будут протекать в разных направлениях, а амплитуда общего тока  $I_{\text{общ}}$  будет равна разности  $I_1$  и  $I_2$ . Дальнейшее «запаздывание» тока  $I_2$  приведет к тому, что в момент  $t_3$  направления обоих токов вновь совпадут, и общий ток возрастет. Таким образом, амплитуда общего тока  $I_{\text{общ}}$  будет периодически изменяться, чем-то напоминая модулированный сигнал (рис. 122). Частота изменения амплитуды общего тока как раз и равна разности частот  $f_2 - f_1$ . Это легко доказывается простейшим примером: если частота  $f_1$ , равна 10 гц, а частота  $f_2 = 8$  гц, то в течение каждой секунды второе колебание «отстает» от первого на два полных периода, или, иными словами, в течение каждой секунды второе колебание дважды отстает от первого на целый период. Это значит, что дважды в течение каждой секунды амплитуды токов  $I_1$  и  $I_2$  совпадут, и амплитуда общего тока достигнет наибольшей величины. Таким образом, частота изменения амплитуды общего тока равна 2 гц, то есть равна разности  $f_1$  и  $f_2$  ( $10 - 8 = 2$  гц).

Рассмотренный нами пример относится к низким частотам, но совершенно то же самое произойдет, если  $f_1$  и  $f_2$  будут измеряться килогерцами или мегагерцами.

Если в общую цепь, где протекает суммарный ток  $I_{\text{общ}}$ , включить детектор, то переменный ток будет преобразован в пульсирующий (рис. 123) и можно будет выделить сигнал с разностной частотой, подобно тому как мы выделяли низкочастотную составляющую продетектированного сигнала.

Напомним, что без детектора или другого нелинейного элемента получить сигнал промежуточной частоты невозможно, точно так же как без детектора из модулированного сигнала невозможно получить низкочастотную составляющую. Объясняется это тем, что сигнал промежуточной частоты, как и низкочастотная составляющая, при детектировании появляется лишь в результате изменения формы сигнала, то есть в результате нелинейных процессов. До того как модулированный сигнал попал на детектор, это был только высокочастотный сигнал, не содержащий никакой низкочастотной составляющей. Да это и понятно. Ведь низкая частота, если бы она даже поступила в антенну передатчика, не образовала бы радиоволн и тем более не прошла бы через контуры приемника. Точно так же без нелинейного элемента в общей цепи двух генераторов протекал суммарный ток, который с помощью фильтров можно только разделить на две составляющие  $I_1$  и  $I_2$ . Выделив эти две составляющие, мы не обнаружили бы в цепи никаких признаков сигнала промежуточной частоты. Этот сигнал может появиться только после включения в цепь нелинейного элемента.

Сигнал промежуточной (разностной) частоты несет на себе следы каждого из «породивших» его двух сигналов: если один из этих двух сигналов будет модулированным, то и сигнал промежуточной частоты окажется промодулированным точно так же (рис. 124).

Рис. 124. В супергетеродине имеется вспомогательный генератор — гетеродин, который вместе с сигналом принимаемой станции создает сигнал ПЧ (промежуточной частоты). В дальнейшем сигнал ПЧ усиливается и детектируется.

Используя преобразование частоты, можно построить приемник по супергетеродинной схеме (см. рис. 124, 134). В таком приемнике сигнал принимаемой станции  $U_c$  (раньше это обозначение соответствовало напряжению на сетке) с частотой  $f_c$  подается на преобразователь частоты, в качестве которого в простейшем случае может быть использован точечный полупроводниковый диод. Одновременно к преобразователю подводится еще один высокочастотный сигнал  $U_g$  с частотой  $f_g$ . Этот сигнал создается специальным вспомогательным генератором (гетеродином), расположенным в самом приемнике. В результате нелинейных процессов в цепи преобразователя появляется сигнал

промежуточной частоты  $U_{пр}$  с частотой  $f_{пр}$ , равной разности частот  $f_{Г} - f_c$ , или, наоборот,  $f_c - f_{Г}$  (в зависимости от того, какая из частот больше). Так, например, если мы принимаем станцию с частотой  $f_c = 1300$  кгц, а частота гетеродина составляет  $f_{Г} = 1800$  кгц, то мы получим промежуточную частоту  $f_{пр} = 500$  кгц ( $1800 - 1300$ ). Такую же промежуточную частоту мы получим если возьмем частоту гетеродина  $f_{Г} = 800$  кгц ( $1300 - 800$ ). При этом очень важно еще раз отметить, что если сигнал принимаемой станции (1300 кгц) окажется модулированным, то сигнал промежуточной частоты (500 кгц) будет промодулирован точно так же. Сигнал промежуточной частоты выделяется специальным колебательным контуром  $L_{пр}C_{пр}$  и подается на вход усилителя промежуточной частоты (усилитель ПЧ).

Усилитель промежуточной частоты ничем не отличается от обычного приемника прямого усиления с фиксированной настройкой на одну частоту. Фиксированная настройка позволяет сравнительно легко установить в усилителе ПЧ значительное количество колебательных контуров (обычно от трех до шести).

После усиления сигнал промежуточной частоты  $U_{пр}$  подводится к обычному детектору, и полученная в результате детектирования низкочастотная составляющая  $U_{нч}$  ничем не отличается от НЧ составляющей, которую мы получили бы после детектирования сигнала, поступившего в антенну (рис. 124).

Таким образом, вместо непосредственного усиления и детектирования сигнала, как это делалось в приемнике прямого усиления, в супергетеродине мы сначала преобразовали сигнал принимаемой станции  $U_c$  в сигнал промежуточной частоты  $U_{пр}$ , а затем усилили и продетектировали этот сигнал. Конечно, введение преобразователя частоты и вспомогательного генератора (гетеродина) заметно усложнило приемник. Оправдано ли такое усложнение?

На этот вопрос мы сможем ответить лишь после того, как более подробно познакомимся с работой супергетеродина, с его достоинствами и недостатками. ДОСТОИНСТВА...

Прежде всего следует отметить, что супергетеродинный приемник довольно просто можно перестраивать с одной станции на другую — для этого достаточно лишь изменять частоту гетеродина.

Предположим, что усилитель ПЧ нашего приемника настроен на частоту 465 кгц (стандартная промежуточная частота, принятая для отечественных приемников) и нам нужно принять станцию, работающую на частоте 190 кгц. В этом случае мы устанавливаем частоту гетеродина 655 кгц и преобразуем сигнал принимаемой станции в сигнал промежуточной (разностной) частоты ( $655 \text{ кгц} - 190 \text{ кгц} = 465 \text{ кгц}$ ). Если нам нужно принять другую станцию, например работающую на частоте 200 кгц, то достаточно изменить частоту гетеродина, сделав ее равной 665 кгц. В этом случае сигнал промежуточной частоты будет образован с сигналом нужной нам станции:  $665 \text{ кгц} - 200 \text{ кгц} = 465 \text{ кгц}$ .

Изменяя частоту гетеродина, мы будем получать сигнал промежуточной частоты то с одной, то с другой, то с третьей станции и таким образом будем осуществлять плавную настройку приемника (рис. 125, 126).

Рис. 125. После преобразователя будет огромное число промежуточных частот, созданных сигналами различных станций. Однако к детектору пойдет лишь тот сигнал, частота которого совпадет с резонансной частотой контуров усилителя ПЧ. Все остальные сигналы, в том числе сигналы соседних станций, будут ослаблены в усилителе ПЧ.

Рис. 126. Для настройки супергетеродинного приемника изменяют частоту гетеродина. При этом промежуточную частоту, на которую настроены контуры усилителя ПЧ, будут создавать сигналы то одной, то другой, то третьей станции.

Другое важное достоинство супергетеродина то, что в нем можно получить хорошую избирательность по соседнему каналу на всех диапазонах, включая короткие волны и УКВ. Мы уже отмечали, что количество контуров в усилителе ПЧ может быть очень большим, так как эти контуры всегда настроены на одну и ту же частоту и выполнить их сравнительно просто. Таким образом, появляется реальная возможность практически доказать правильность лозунга: «Чем больше контуров, тем лучше избирательность» (рис. 127).

Рис. 127. Контуры усилителя ПЧ всегда настроены на одну и ту же частоту, а это позволяет сравнительно просто использовать большое число контуров и получить хорошую избирательность по соседнему каналу.

Но это еще не все. Огромное значение имеет то, что сама частота настройки контуров ПЧ сравнительно невелика, обычно она составляет 465 кГц, то есть находится ниже самой низкой частоты СВ диапазона. Сигналы разностной частоты образует не только принимаемая, но и все остальные станции и в том числе соседние станции. Совершенно очевидно, что все эти разностные частоты отличаются одна от другой так же, как отличаются по частоте сигналы, поступающие в антенну. Лишь одна из станций дает ту частоту, на которую настроены контуры усилителя ПЧ, а все остальные сигналы, в том числе и сигналы соседних станций, будут ослаблены этими контурами.

Так, например, если промежуточная частота приемника (частота настройки контуров усилителя ПЧ) равна 465 кГц, то для приема станций с частотой 200 кГц частота гетеродина должна составлять 665 кГц. Взаимодействуя с гетеродином, принимаемые сигналы различных радиостанций создадут на выходе преобразователя переменные токи разностных частот. Для соседних станций 190 кГц и 210 кГц эти частоты составят 455 кГц и 475 кГц. Они-то и будут представлять собой помехи по соседнему каналу, которые будут ослаблены контурами усилителя промежуточной частоты, настроенными на 465 кГц. На каком бы диапазоне мы ни вели прием, соседние мешающие станции в супергетеродине, у которого  $f_{пр} = 465$  кГц, всегда будут создавать сигналы ПЧ с частотами 455 и 475 кГц. Иными словами, частоты помех по соседнему каналу в таком супергетеродине всегда будут отличаться от принимаемой (промежуточной) частоты примерно на 2 %. Такого различия оказывается достаточно для эффективного ослабления соседних помех. Во всяком случае это намного лучше, чем в приемнике прямого усиления, в котором даже на средних волнах, не говоря уже о коротких, приходится «бороться» с соседними помехами, частоты которых отличаются от принимаемой всего лишь на 0,7–2 % (рис. 128).

Рис. 128. В приемнике прямого усиления с увеличением частоты все труднее (а на коротких волнах вообще невозможно) становится разделить сигналы принимаемой и соседней радиостанций. В супергетеродине сигналы соседней станции ослабляются контурами усилителя ПЧ, и поэтому избирательность по соседнему каналу одинакова на всех диапазонах.

Таким образом, в супергетеродине приемнике избирательность по соседнему каналу зависит от числа контуров в усилителе ПЧ, добротности этих контуров, а также от выбранной промежуточной частоты. Чем меньше выбранная частота  $f_{пр}$ , тем больший процент в сравнении с ней будет составлять различие в частотах соседних станций (10 кГц), тем, следовательно, лучше избирательность приемника по соседнему каналу. Здесь, правда, существует ряд ограничений, с которыми мы познакомимся несколько позже.

Используя в усилителе ПЧ четыре контура, настроенных на частоту 465 кГц, при добротности каждого из этих контуров  $Q = 100$ , можно ослабить соседнюю станцию в несколько сот раз. Чтобы получить такую избирательность при работе на средних волнах, в приемнике прямого усиления пришлось бы использовать десять — двенадцать контуров, причем каждый из них пришлось бы перестраивать с помощью отдельной секции блока конденсаторов переменной емкости (рис. 121, 127). А в коротковолновом приемнике прямого усиления об

избирательности в двести — триста раз нельзя даже мечтать.

Важным достоинством супергетеродина является также и то, что в нем сравнительно легко можно получить хорошую чувствительность, если, конечно, промежуточная частота не слишком велика.

И, наконец, нельзя не отметить еще одного серьезного преимущества супергетеродинного приемника по сравнению с приемником прямого усиления. В супергетеродине основное усиление сигнала до детектора осуществляется в усилителе ПЧ и практически не зависит от частоты принимаемого сигнала. Точно так же и избирательность приемника остается неизменной на всех диапазонах, поскольку соседние станции в основном ослабляются контурами усилителя ПЧ.

Таким образом, основные достоинства супергетеродина можно определить так: высокая избирательность и хорошая чувствительность на всех диапазонах.

Теперь несколько слов о недостатках супергетеродинного приемника. ... И НЕДОСТАТКИ

Основные недостатки супергетеродина заключаются в том, что в нем появляются два новых вида помех, которых не было в приемнике прямого усиления.

Сточки зрения помех в приемнике прямого усиления наиболее «опасными» являются соседние станции — их сигналы легче всего могут «пролезть» через колебательные контуры вместе с сигналом принимаемой станции. В супергетеродине, помимо помех по соседнему каналу, могут возникнуть два совершенно новых вида помех — это так называемая зеркальная помеха и помеха с частотой, равной промежуточной.

Во всех наших примерах мы считали, что при настройке супергетеродина на станцию частота гетеродина  $f_H$  выше частоты принимаемой станции  $f_c$ . Однако в большинстве случаев и, в частности, на средних и коротких волнах можно получить стандартную промежуточную частоту 465 кГц, сделав частоту гетеродина  $f_H$  ниже частоты принимаемой станции. Так, например, если промежуточная частота  $f_{пр} = 465$  кГц, то прием станции с частотой  $f_c = 10\,000$  кГц можно вести как при частоте гетеродина  $f_H = 10\,465$  кГц, так и при  $f_H = 9545$  кГц: в обоих случаях разностная частота составит 465 кГц.

Принципиально не имеет значения, будет ли частота гетеродина больше или меньше частоты сигнала, важно лишь, чтобы эти частоты отличались одна от другой на 465 кГц, то есть на промежуточную частоту. Поэтому, если постепенно уменьшать частоту гетеродина, то можно дважды настроиться на одну и ту же станцию: первый раз, когда  $f_H$  будет больше  $f_c$  на 465 кГц, и второй раз, когда  $f_H$  будет меньше  $f_c$  на 465 кГц. Первую из этих настроек обычно называют основной, а вторую — зеркальной (рис. 129).

Рис. 129. В супергетеродине на одну станцию можно настроиться дважды: когда частота гетеродина  $f_H$  больше частоты сигнала  $f_c$  (основная настройка) и когда частота гетеродина  $f_H$  меньше частоты сигнала  $f_c$  (зеркальная настройка).

На первый взгляд может показаться, что наличие зеркальной настройки не таит в себе никаких опасностей. Недостаточно опытные любители иногда даже радуются появлению зеркальной настройки, так как при этом создается впечатление, что супергетеродин принимает в два раза больше станций. Но в действительности же наличие зеркальной настройки является серьезным недостатком супергетеродина, так как она может явиться помехой (зеркальная помеха или помеха по зеркальному каналу) для другой станции. Для того чтобы убедиться в этом, достаточно проделать несколько простейших арифметических операций

Так, например, если ведется прием станции с частотой 10 000 кГц, частота гетеродина

должна быть равна 10 465 кгц. При этом одновременно может быть слышна станция, работающая на частоте 10 930 кгц, которая, так же как и принимаемая станция, создаст сигнал промежуточной частоты (10 930 кгц — 10 465 кгц = 465 кгц). Эта станция будет представлять собой зеркальную помеху — мы одновременно будем слышать две станции, причем в большинстве случаев прием будет сопровождаться сильным «свистом». Для основной настройки на станцию с частотой 10 930 кгц частота гетеродина должна быть равна 11 395 кгц (11 395 кгц — 10930 кгц = 465 кгц). В этом случае также возможно появление зеркальной помехи — прием станции, работающей на частоте 11 860 кгц (11 860 кгц — 11 395 кгц = 465 кгц). Другой пример зеркальной помехи приведен на рисунке 130.

Рис. 130. Любой частоте гетеродина  $f_H$  может соответствовать прием двух станций, для одной из которых настройка будет основной ( $f_H$  больше  $f_c$ ), а для другой — зеркальной ( $f_H$  меньше  $f_c$ ). Иными словами, создать сигнал промежуточной частоты могут одновременно две станции: одна с частотой  $f_c$  ниже частоты гетеродина (принимаемая станция), другая с частотой  $f_{cp}$  — выше частоты гетеродина (зеркальная помеха).

Из приведенных примеров видно, что частота зеркальной помехи всегда отличается от частоты принимаемой станции на две промежуточные частоты — на 930 кгц. Следует, правда, заметить, что зеркальная помеха существует не всегда. Может же случайно оказаться так, что частота, на которой должна появиться эта помеха, «пустует» или на этой частоте работает очень слабая станция. Однако рассчитывать «на авось», конечно, нельзя, и поэтому в супергетеродине ведется борьба с зеркальной помехой.

Борьба с зеркальной помехой после преобразователя частоты невозможна, так как и принимаемая станция, и зеркальная помеха создают одинаковые по частоте (465 кгц) сигналы, которые одинаково хорошо проходят через контуры усилителя ПЧ. Отсюда следует, что бороться с зеркальной помехой нужно на входе приемника, до преобразователя частоты. Для этого используется обычный колебательный контур (входной контур), который настраивается на частоту принимаемой станции и, таким образом, ослабляет зеркальную помеху (рис. 131).

Рис. 131. Бороться с зеркальной помехой можно только до преобразователя частоты. Для этого используют контур, настроенный на частоту принимаемой станции. Он и ослабляет сигнал, который мог бы создать зеркальную помеху.

Входной контур супергетеродина практически ничем не отличается от входного контура приемника прямого усиления: в обоих случаях используются катушки индуктивности и конденсаторы переменной емкости, а также применяются одни и те же схемы связи с антенной. Однако входной контур супергетеродинного приемника, если можно так выразиться, находится в более выгодном положении: его задачей является ослабление зеркальной помехи, частота которой отличается от резонансной частоты контура на 930 кгц, в то время как в приемнике прямого усиления входной контур должен ослаблять соседнюю станцию, отличающуюся от принимаемой всего лишь на 10 кгц.

Здесь уместно сказать несколько слов о выборе промежуточной частоты. Принципиально можно построить супергетеродинный приемник с промежуточной частотой от нескольких десятков килогерц до нескольких мегагерц. Для того чтобы получить хорошую избирательность по соседнему каналу, желательно, чтобы промежуточная частота  $f_{пч}$  была как можно ниже: чем ниже величина  $f_{пч}$ , тем сильнее будет проявляться различие в частотах принимаемой и соседней станций, тем легче будет контурам ПЧ подавить помеху по соседнему каналу. Так, например, при  $f_{пч} = 100$  кгц сигналы ПЧ принимаемой и соседней станции отличаются на 10 %, при  $f_{пч} = 465$  кгц это различие составит уже 2 %, а при  $f_{пч} = 2000$  кгц — всего лишь 0,5 %. Совершенно очевидно, что в первом случае, то есть при низкой промежуточной частоте, избирательность по соседнему каналу будет лучше.

С другой стороны, желательно, чтобы  $f_{\text{пр}}$  была как можно больше, так как при этом увеличится различие между частотами зеркальной помехи и принимаемой станции, а это, в свою очередь, усилит подавление зеркальной помехи с помощью входного контура.

Как уже отмечалось (стр. 261), частоты зеркальной помехи и принимаемой станции отличаются на величину  $2 \cdot f_{\text{пр}}$ . Для промежуточных частот 100, 465 и 2000 кгц частота зеркальной помехи будет отличаться от частоты принимаемой станции соответственно на 200, 930 и 4000 кгц. Отсюда следует, что входной контур лучше всего будет ослаблять зеркальную помеху в последнем случае, то есть при высокой промежуточной частоте.

В зависимости от назначения приемника и предъявляемых к нему требований для этого приемника может быть выбрана низкая (обычно 110–130 кгц) или высокая (обычно 1400–1800 кгц и более) промежуточная частота. В подавляющем большинстве радиовещательных приемников промежуточная частота равна стандартной — 465 кгц. При этой величине  $f_{\text{пр}}$  удается получить удовлетворительную избирательность как по соседнему, так и по зеркальному каналу. Правда, при  $f_{\text{пр}} = 465$  кгц ослабление зеркальной помехи на КВ диапазоне не всегда оказывается достаточным.

Стандартная промежуточная частота находится в середине «свободного» участка между вещательными диапазонами длинных и средних волн. На стандартной промежуточной частоте и на частотах, близких к ней, не работают ни вещательные станции, ни передатчики радиосвязи. Связано это с тем, что для сигналов с частотой, равной  $f_{\text{пр}}$ , супергетеродин представляет собой обычный приемник прямого усиления с фиксированной настройкой. Прием этих сигналов осуществляется независимо от частоты гетеродина и даже более того — при выключенном гетеродине (рис. 132).

Рис. 132. В супергетеродине может появиться помеха с частотой, равной промежуточной, для которой все контуры усилителя ПЧ оказываются настроенными в резонанс.

Несмотря на то что на промежуточной частоте радиостанции не работают, в приемную антенну все же попадают помехи, имеющие частоту 465 кгц. Они появляются в результате грозовых разрядов и в процессе работы различных электрических устройств: коллекторных двигателей, сварочных аппаратов и т. п. Легко проникая в приемник, помехи с частотой  $f_{\text{пр}}$  будут мешать нормальному приему всех без исключения станций. Для борьбы с этим видом помех в антенной цепи приемника устанавливаются различные фильтры (лист 163). Один из таких фильтров, получивший название «фильтр-пробка», представляет собой обычный параллельный колебательный контур  $L_{\text{ф-пр}}$ ,  $C_{\text{ф-пр}}$ , настроенный на частоту  $f_{\text{пр}}$  и включенный в цепь антенны (рис. 133, лист 163).

Рис. 133. Для борьбы с помехой, частота которой равна промежуточной, на входе приемника можно установить заграждающий фильтр («фильтр-пробку»).

Как известно (см. лист 152), на резонансной частоте такой контур имеет большое сопротивление, поэтому он и не пропускает на вход приемника помехи с частотой  $f_{\text{пр}}$ . Можно применить и последовательный контур (лист 151), который будет накоротко замыкать сигнал с частотой  $f_{\text{пр}}$ , не пропуская его ко входному контуру.

К недостаткам супергетеродинного приемника иногда относят некоторую сложность его схемы (например, необходимость вспомогательного генератора — гетеродина) и трудность налаживания приемника. Что касается усложнения схемы, то оно с лихвой окупается высокими качественными показателями приемника, который удается получить при сравнительно небольшом числе ламп.

Наладить супергетеродин действительно труднее, чем приемник прямого усиления, однако эта задача по силам даже начинающему радиолюбителю. Конечно, при условии, что он достаточно хорошо знаком со схемой и устройством супергетеродина, назначением



отдельных его узлов и с порядком настройки приемника.

В заключение можно сделать следующий вывод: супергетеродинный приемник имеет ряд решающих преимуществ по сравнению с приемником прямого усиления. Именно поэтому супергетеродинный приемник является основным типом приемников, выпускаемых промышленностью. Именно поэтому его можно рекомендовать радиолюбителям как основную конструкцию для самостоятельного изготовления. А с недостатками супергетеродинного приемника можно успешно бороться. Прежде чем приступить к постройке супергетеродина, рассмотрим вкратце отдельные элементы этого приемника. **ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ СУПЕРГЕТЕРОДИНА**

Основными узлами супергетеродинного приемника являются: входная цепь с колебательным контуром, преобразователь частоты, гетеродин, усилитель промежуточной частоты, детектор и усилитель низкой частоты с громкоговорителем (рис. 134).

Рис. 134. Основными узлами супергетеродина являются: входная цепь, преобразователь частоты с гетеродином, усилитель промежуточной частоты, детектор, усилитель низкой частоты и, как обычно, блок питания.

В приемник входит также блок питания, с которого подается анодное напряжение и напряжение накала на все ламповые каскады.

В приемниках высокого класса между входной цепью и преобразовательным каскадом обычно имеется еще и усилитель высокой частоты с настраиваемым колебательным контуром в качестве анодной нагрузки. Такой усилитель не только повышает чувствительность приемника, но и улучшает его избирательность по зеркальному каналу, так как два контура ослабляют зеркальную помеху лучше, чем один. Как по всей схеме, так и по применяемым деталям входная цепь супергетеродина не отличается от входных цепей приемника прямого усиления. Для настройки входных контуров используется одна из секций сдвоенного блока конденсаторов переменной емкости. Вторая секция этого блока используется для изменения частоты гетеродина. Во входных, так же, впрочем, как и в гетеродинных контурах фабричных приемников, можно встретить два вида коммутации: переключение и замыкание (лист 165).

Со входного контура напряжение сигнала подается на преобразователь частоты (лист 164), куда одновременно подводится и напряжение гетеродина (лист 166). Гетеродин по своей схеме и используемым деталям очень напоминает регенеративный детектор. В нем также имеются колебательный контур (ЛК-ГСК-Г) в цепи сетки и катушка обратной связи Лос в цепи анода лампы. В некоторых случаях контур включают в анодную цепь, а катушку обратной связи — в сеточную (лист 167).

В гетеродине, в отличие от регенеративного каскада, обратную связь между катушками ЛК-Г и Лос, а также режим лампы подбирают с таким расчетом, чтобы энергия, поступающая из анодной цепи в сеточную, полностью компенсировала потери в контуре. При этом каскад работает в режиме самовозбуждения, то есть в контуре появляются незатухающие электромагнитные колебания (рис. 119). Иными словами, рассматриваемый каскад — гетеродин представляет собой ламповый генератор переменного тока — устройство, которое, используя энергию источников питания лампы, создает переменное напряжение  $U_{Г\sim}$  определенной частоты. Частота переменного напряжения, действующего на контуре гетеродина, практически равна частоте собственных колебаний этого контура:

Это значит, что, изменяя величину индуктивности ЛК-Г или емкости контура гетеродина СК-Г, можно менять частоту генерируемых колебаний  $f_{Г}$ , осуществляя таким образом настройку приемника. При переходе с одного диапазона на другой в контуре гетеродина, так же как и во входном контуре, переключают катушки индуктивности (лист 165). Плавная настройка в

пределах диапазона осуществляется конденсатором переменной емкости.

Для одновременной настройки гетеродинного и входного контура в супергетеродинном приемнике применяется стандартный блок из двух конденсаторов переменной емкости. Каждый из этих конденсаторов обычно имеет минимальную емкость 15–25 пф и максимальную 450–520 пф.

Во входном контуре с помощью такого конденсатора удается легко изменять частоту в необходимых пределах. Что же касается гетеродинного контура, то здесь стандартный конденсатор может быть использован только вместе со специальными конденсаторами постоянной емкости, пат учившими название сопрягающих (пединговых) конденсаторов.

Дело в том, что входящие в блок одинаковые конденсаторы настройки будут изменять резонансную частоту входного контура  $f_{к-вх}$  гетеродина  $f_{Г}$  в одно и то же число раз. А для того чтобы эти частоты всегда отличались одна от другой на 465 кГц, нужно, чтобы частота гетеродина изменялась не так резко, как частота входного контура (рис. 135).

Рис. 135. Если во входном контуре и в гетеродине применить одинаковые конденсаторы, то резонансная частота входного контура  $f_{к-вх}$  и частота гетеродина  $f_{Г}$  в пределах диапазона будут изменяться в одно и то же число раз, и разница между этими частотами будет изменяться так же. Это значит, что почти всегда станция, на которую настроен входной контур, вообще приниматься не будет, а сигнал принимаемой станции (то есть той, которая вместе с гетеродином дает промежуточную частоту) будет сильно ослабляться входным контуром.

Поясним это простейшим примером. Допустим, что у вас имеется 4 яблока, а у вашего товарища на 6 штук больше, то есть 10 яблок. Теперь представьте, что какой-то добрый волшебник взмахнул своей палочкой и у каждого из вас число яблок увеличилось вдвое, то есть у вас оказалось 8 яблок, а у товарища 20. Сейчас уже ваш товарищ имеет не на 6, а на 12 яблок больше. Отсюда следует, что если два разных числа увеличить в одинаковое число раз, то разница между этими числами также изменится.

Если бы наш воображаемый волшебник захотел, чтобы у товарища оставалось бы на 6 яблок больше, чем у вас, то, увеличив ваши запасы вдвое, он должен был увеличить запасы вашего товарища лишь в 1,4 раза. Тогда у вас, как и в первом случае, оказалось бы 8 яблок, а у товарища 14, и разница осталась бы равной шести. Одним словом, для того чтобы разница между двумя какими-нибудь числами оставалась неизменной, эти числа нужно увеличить в различное число раз.

Примерно к тем же выводам мы придем, рассматривая изменение частоты гетеродина  $f_{Г}$  и входного контура  $f_{к-вх}$  при настройке супергетеродинного приемника в пределах диапазона.

Так, например, в диапазоне длинных волн резонансная частота входного контура  $f_{к-вх}$  равна частоте принимаемой станции  $f_{с}$  и изменяется от 140 до 420 кГц, то есть в три раза. Если одновременно изменяется в три раза частота гетеродина, то при настройке приемника в пределах диапазона и промежуточная частота изменится в три раза (рис. 135), что совершенно недопустимо, так как контуры ПЧ всегда настроены на одну и ту же частоту.

Для того чтобы и в начале и в конце диапазона разница между  $f_{к-вх}$  и  $f_{с}$  составляла 465 кГц, необходимо, чтобы частота гетеродина изменялась от 605 кГц до 885 кГц, то есть примерно в 1,5 раза. Аналогично на средних волнах изменению резонансной частоты входного контура в три раза (520 — 1600 кГц) должно соответствовать изменение  $f_{с}$  в 2,2 раза (от 985 до 2065 кГц). На коротких волнах резонансная частота входного контура изменяется в 3,2 раза, а частота гетеродина в 3,1 раза.

Где же выход? Может быть, ввести отдельную настройку входного и гетеродинного контуров?

Именно так и поступали в первых супергетеродинных приемниках, появившихся несколько десятков лет назад. Но настраивать контур гетеродина и входной контур с помощью отдельных конденсаторов неудобно.

Для одновременной настройки гетеродинного и входного контура в супергетеродинном приемнике обычно применяется стандартный блок из двух одинаковых конденсаторов переменной емкости. Однако, несмотря на то что эти секции одинаковы, с их помощью удается изменять частоту гетеродинного контура в меньшее число раз, чем частоту входного контура. Достигается это путем искусственного уменьшения максимальной емкости контура гетеродина. Для этого совсем не обязательно переделывать используемый в этом контуре конденсатор настройки: достаточно последовательно с ним включить конденсатор постоянной емкости — сопрягающий конденсатор  $C_{соп}$  (рис. 136).

Рис. 136. Чтобы разница между  $f_c$  и  $f_H$  не изменялась в пределах диапазона, нужно, чтобы частота гетеродина  $f_H$  менялась в меньшее число раз, чем резонансная частота входного контура  $f_{к-вх}$ . Этого можно добиться, включив в контур гетеродина сопрягающий конденсатор  $C_{соп}$ .

Как мы уже отмечали (лист 89), общая емкость двух конденсаторов, соединенных последовательно, меньше емкости любого из них и близка по величине к наименьшей из емкостей. Для длинноволнового диапазона емкость конденсатора  $C_{соп}$  обычно составляет 150–200 пф, для средневолнового 400–500 пф и для коротковолнового 4000–5000 пф (лист 180). На минимальную емкость контура гетеродина сопрягающие конденсаторы практически не влияют, поскольку минимальная емкость конденсатора настройки во много раз меньше емкости любого из сопрягающих конденсаторов. Что же касается максимальной емкости контура, то на длинных волнах она будет примерно равна 130–150 пф, на средних 250–300 пф и на коротких 400–450 пф.

Благодаря тому что максимальная емкость контура гетеродина оказывается меньше максимальной емкости входного контура (ведь во входной контур мы не включаем сопрягающие конденсаторы), разница между частотами  $f_{к-вх}$  и  $f_H$  на всех участках каждого из диапазонов сохраняется равной  $f_{пр}$  (приблизительно).

Высокочастотное напряжение с сетки (или с анода) гетеродина подается на преобразователь частоты. В качестве преобразователя частоты может быть использован любой нелинейный элемент, в том числе электронная лампа. Наиболее широко в преобразовательном каскаде используются специальные лампы — гептоды (рис. 71), в которых имеются две управляющие сетки. На одну из этих сеток подается из входной цепи сигнал принимаемой станции  $U_c$ , на вторую — переменное напряжение гетеродина  $U_H$ . Оба эти напряжения управляют анодным током, и поэтому переменная составляющая анодного тока фактически представляет собой сумму двух переменных составляющих с частотами  $f_c$  и  $f_H$ . Режим лампы подбирается таким образом, чтобы форма кривой анодного тока несколько искажалась (в усилителе мы боремся с нелинейными искажениями, здесь они нам необходимы). При этом в анодном токе появляется составляющая с разностной (промежуточной) частотой, которая и выделяется контуром  $L'прC'пр$  включенным в анодную цепь лампы (лист 164).

Рядом с катушкой  $L'пр$  расположена катушка второго контура, настроенного на промежуточную частоту ( $L''прC''пр$ ) и включенного в сеточную цепь лампы усилителя ПЧ.

Благодаря усилительным свойствам преобразовательной лампы на ее выходе напряжение  $U_{пр}$  оказывается в десять — тридцать раз больше, чем напряжение сигнала  $U_c$ , поступающего из входной цепи приемника. Таким образом, преобразовательный каскад, помимо выполнения своей основной задачи, еще и усиливает сигнал.

В настоящее время преобразователь частоты и гетеродин, как правило, выполняются на

одной комбинированной лампе 6И1П, в которую входит триод (используется в гетеродине) и гептод (используется в самом преобразователе).

Усилитель промежуточной частоты супергетеродинного приемника принципиально ничем не отличается от усилителя высокой частоты приемника прямого усиления с фиксированной настройкой (листы 169, 155). В анодную цепь лампы усилителя ПЧ включен контур  $L''''\text{пр}C''''\text{пр}$ , настроенный на промежуточную частоту. С этим контуром индуктивно связан следующий контур ПЧ —  $L''''\text{пр}C''''\text{пр}$ , с которого усиленное напряжение промежуточной частоты подается на детектор.

Применяемые в усилителе ПЧ два контура, настроенные на промежуточную частоту и связанные между собой индуктивно (а иногда и через конденсатор), получили название двухконтурного полосового фильтра (лист 172). Радиолюбители иногда называют такие контуры трансформатором промежуточной частоты. Включение в анодную цепь преобразователя частоты и усилителя ПЧ двухконтурных фильтров вместо одиночных колебательных контуров резко улучшает избирательность приемника по соседнему каналу.

В радиовещательных приемниках высокого класса, а также в некоторых приемниках специального назначения усилитель промежуточной частоты может содержать два-три и более усилительных каскадов с многоконтурными фильтрами.

Детектор, усилитель низкой частоты и блок питания супергетеродина совершенно аналогичны соответствующим узлам приемника прямого усиления. Следует заметить, что в супергетеродинах почти всегда применяется диодный детектор, так как нелинейные искажения, возникающие в нем, намного меньше нелинейных искажений сеточного детектора. Что же касается дополнительного усиления, которое дает сеточный детектор, то в супергетеродине это усиление оказывается излишним хотя бы потому, что сигнал принимаемой станции достаточно (примерно в 10 тысяч — 50 тысяч раз) усиливается до детектора.

Иногда, стремясь простейшим путем повысить чувствительность и избирательность супергетеродина, радиолюбители используют в нем положительную обратную связь в усилителе ПЧ или сеточном детекторе, мирясь с возникающими дополнительными искажениями (чертеж 25). Достоинством такого усилителя ПЧ и регенеративного детектора, применяемого в супергетеродине, является то, что эти элементы всегда работают на одной (промежуточной) частоте, и поэтому при перестройке приемника с одной станции на другую обратную связь можно не изменять.

Благодаря высокой чувствительности супергетеродин принимает большое количество радиостанций. При приеме «сильных» станций после детектирования может получиться очень большое напряжение (5—15 в). Для того чтобы при этом не возникали большие нелинейные искажения (например, из-за перегрузки громкоговорителя), приходится выводить регулятор громкости и тем самым уменьшать низкочастотное напряжение, которое подается на вход усилителя НЧ. При приеме «слабых» станций, наоборот, почти полностью вводят регулятор громкости, добиваясь нормального звучания передачи. Для того чтобы не приходилось слишком часто пользоваться регулятором громкости (это особенно неудобно при настройке приемника, когда «сильные» и «слабые» станции непрерывно сменяют друг друга), в супергетеродинном приемнике применяют систему автоматической регулировки усиления — АРУ, которая автоматически уменьшает усиление приемника при приеме «сильных» станций. Благодаря этому при изменении сигнала, поступающего на вход приемника, громкость передачи меняется незначительно.

Работа АРУ основана на использовании в преобразователе частоты и усилителе ПЧ ламп с переменной крутизной (варимю) — пентодов с удлиненной характеристикой. Именно они, в отличие от всех прочих пентодов, обозначаются буквой «К». Усиление таких ламп очень

сильно зависит от напряжения отрицательного смещения на управляющей сетке: чем больше отрицательное смещение, тем слабее усиливает лампа (рис. 137).

Рис. 137. В лампе с переменной крутизной усиление зависит от величины отрицательного смещения: чем больше смещение, тем меньше крутизна лампы, тем слабее она усиливает сигнал.

Управляющая сетка лампы с переменной крутизной представляет собой спираль с постепенно меняющимся шагом. Уже при небольшом отрицательном напряжении смещения наиболее густая часть сетки перестает пропускать электроны от катода к аноду, а это равносильно уменьшению размеров управляющей сетки и поверхности катода, излучающей электроны. Чем больше отрицательное смещение, тем меньше реально работающая часть управляющей сетки, тем хуже эта сетка управляет анодным током лампы, тем, следовательно, меньше усиление каскада.

Для осуществления автоматической регулировки усиления на сетки ламп преобразователя и усилителя ПЧ в качестве отрицательного смещения подается выпрямленное напряжение  $U_{APY}$ , образующееся на нагрузке детектора  $RH-D + RF-D$  (рис. 138, лист 170).

Рис. 138. Используя в качестве смещения постоянное напряжение на нагрузке детектора, можно осуществить автоматическую регулировку усиления — АРУ.

Напряжение  $U_{APY}$  (его часто называют регулирующим, появляется при прохождении по сопротивлениям  $RH-D$  и  $RF-D$  постоянной составляющей  $I_D =$  пульсирующего тока (эту составляющую мы ранее не использовали). Чем больше напряжение сигнала на входе приемника  $U_c$ , тем больше и ток  $I_D =$ , а следовательно, и отрицательное напряжение  $U_{APY}$ , подаваемое на сетки ламп. Таким образом, при повышении уровня сигнала принимаемой станции усиление приемника автоматически уменьшается. Имеющийся в цепи АРУ фильтр  $RF-APY$ ,  $CF-APY$  нужен для того, чтобы не пропустить к сеткам регулируемых ламп низкочастотную составляющую протектированного сигнала.

Система АРУ оказывается очень полезной при приеме станций на коротковолновом диапазоне, где наблюдаются частые замирания сигнала («фединги»). Они происходят из-за резкого изменения условий распространения радиоволн.

Напряжение  $U_{APY}$  может подаваться на сетки регулируемых ламп, либо непосредственно через катушку сеточного контура, либо через дополнительное сопротивление. В последнем случае для токов высокой частоты контур необходимо соединить с катодом (шасси) через конденсатор ( $C_7$ , чертеж 19). ПРАКТИЧЕСКАЯ СХЕМА

Рассмотрев назначение и принцип действия отдельных узлов супергетеродина (рис. 134), познакомимся с его практической схемой и приступим к постройке самого приемника.

При постройке супергетеродина мы воспользуемся уже имеющимся у нас выпрямителем и усилителем НЧ (панели НЧ и БП), а преобразователь частоты вместе с выходными контурами соберем на панели ВЧ, установив на ней дополнительно четыре каркаса для контуров — один для КВ входного контура и три для ДВ, СВ и КВ контуров гетеродина. Заново нам нужно будет изготовить лишь панель усилителя промежуточной частоты — панель ПЧ (чертеж 3). Все узлы (панели) супергетеродина легко разместятся на деревянной раме, схемы которой приведены на том же чертеже. Общий вид собранного супергетеродина показан на чертеже 1.

На чертеже 16 приведена принципиальная, а на чертеже 17 монтажная схема высокочастотной части супергетеродина, то есть той части, которая начинается с антенны и заканчивается детектором. Схемы усилителя НЧ и выпрямителя остаются такими же, какими они показаны на чертежах 9 и 12.

Во входной цепи супергетеродина используются те же контуры, что и в детекторном приемнике, и схема их включения так же остается почти без изменений. Отличие состоит лишь в том, что высокочастотное напряжение с контуров подается не на детектор, а на первую управляющую сетку преобразовательной лампы 6И1П (П1).

Кроме того, во входную цепь супергетеродина L5L6C4 вводится коротковолновый контур который подключается так же, как длинноволновый и средневолновый контуры. Сразу же отметим, что во всех контурах приемников лучше всего применять подстроечные конденсаторы емкостью 6—25 пф или 8—30 пф, хотя не исключается применение других конденсаторов, особенно с большей максимальной емкостью.

В приемнике применена индуктивная связь с антенной, облегчающая получение равномерной чувствительности в пределах каждого диапазона. Для упрощения входной цепи можно применить и емкостную связь с антенной (см. пунктирную линию на схеме). В этом случае можно будет исключить катушки L1, L3 и L5, а в переключателе диапазонов обойтись одной платой с тремя подвижными контактами (П1б, П1в и П1 г, см. чертеж 23).

С входного контура напряжение ВЧ подается на сетку лампы через конденсатор небольшой емкости С6. Этот конденсатор нужен для того, чтобы источник напряжения АРУ не оказался замкнутым через сравнительно небольшое сопротивление одной из катушек входного контура L2, L4 или L6.

Гетеродин собран на триодной части лампы 6И1П (П1). В цепь управляющей сетки лампы включен колебательный контур, который на всех диапазонах настраивается одной из секций (С10) сдвоенного блока конденсаторов переменной емкости. Кроме того, в контур входит одна из катушек индуктивности — L7, L9 или L11 с подключенным к ней подстроенным конденсатором С12, С13 или С14 и один из сопрягающих конденсаторов С15, С16 или С17. Сопрягающий конденсатор, как это и требуется, включен в контур последовательно между конденсатором настройки и соответствующей контурной катушкой. Катушки L7, L9, L11, вместе с сопрягающими и подстроечными конденсаторами подключаются к конденсатору настройки, а следовательно, и к сетке лампы, с помощью подвижного контакта секции П1в переключателя диапазонов.

Коммутация (переключение) катушек обратной связи L8, L10, L12 осуществляется несколько иначе. Дело в том, что через катушку обратной связи подается постоянное напряжение на анод гетеродина, и поэтому по этой катушке проходит постоянный анодный ток (около 5—6 ма). Если катушки обратной связи подключать к аноду лампы поочередно, так же как подключаются к сетке контурные катушки, то во время переключения диапазонов будет происходить разрыв цепи постоянного тока, в результате чего могут «подгореть» контакты переключателя.

Во избежание этого все катушки обратной связи соединяются последовательно. На коротких волнах переключатель П1 г замыкает накоротко катушки L8 и L10 (длинные и средние волны), и, таким образом, фактически остается включенной только катушка L12. На средних волнах закорачивается только длинноволновая катушка обратной связи L8. При этом в цепь обратной связи включены последовательно две катушки — коротковолновая L12 и средневолновая L10. Поскольку катушка L12 имеет намного меньше витков, чем катушка L10 (см. намоточные данные катушек на стр. 123), то влиянием L12 на работу гетеродина на средних волнах можно пренебречь.

Аналогично можно пренебречь влиянием катушек L12 и L10 при работе на длинных волнах, когда в цепь обратной связи включены все три катушки.

В ряде промышленных и любительских приемников коммутация «закорачиванием» (лист 165) осуществляется не только для катушек обратной связи, но и для входных и гетеродинных

контурных катушек. Используя катушки от этих приемников, нужно сохранять и систему коммутации.

В цепь управляющей сетки гетеродина включено сопротивление автоматического смещения R2 (лист 138). Величина этого сопротивления очень сильно влияет на работу гетеродина: чем больше R2, тем больше отрицательное смещение на сетке, тем, следовательно, меньше переменное напряжение  $U_{Г\sim}$ , развиваемое гетеродином. Величина этого напряжения зависит также и от емкости конденсатора C11, через который переменное напряжение поступает на сетку лампы. Кроме того, режим работы гетеродина определяется числом витков катушек обратной связи, расстоянием между этими катушками и соответствующими контурными катушками, а также сопротивлением развязывающего фильтра R6, от которого зависит величина постоянного напряжения на аноде триода.

С сетки триода напряжение  $U_{Г\sim}$  подается на вторую управляющую сетку гептода. Поскольку обе эти сетки соединены между собой непосредственно, а не через конденсатор, то на них действует одно и то же напряжение отрицательного смещения, которое образуется на сопротивлении R2. Это сопротивление выполняет роль утечки для обеих сеток.

В анодную цепь преобразователя частоты (гептодная часть лампы 6И1П) включен двухконтурный фильтр L13C21, L14C22, настроенный на частоту 465 кГц (промежуточная частота). Со второго контура этого фильтра сигнал ПЧ подается на управляющую сетку пентода 6К4П (Л2), который используется в качестве усилителя ПЧ. Через катушку L14 на управляющую сетку Л2 подается также напряжение АРУ.

Анодной нагрузкой усилителя ПЧ служит контур L15C23, с которого с помощью катушки связи L16 высокочастотный сигнал передается на детектор. Детектор выполнен на полупроводниковом диоде Д1 (можно применить любой точечный полупроводниковый диод) по обычной последовательной схеме (рис. 109). С нагрузки детектора R11 напряжение низкой частоты через конденсатор C27 поступает на усилитель НЧ, а на сетки высокочастотных ламп Л1 и Л2 через фильтр АРУ (R9C25) подается регулирующее напряжение —  $U_{APY}$ . На сетку Л1 напряжение АРУ подается по параллельной схеме, а на сетку Л2 — по последовательной (лист 171).

Для того чтобы между преобразователем частоты и усилителем ПЧ не возникла обратная связь, в цепь АРУ включен развязывающий фильтр R3C7. Сопротивление R1, включается для того, чтобы первая управляющая сетка лампы Л1 не оказалась соединенной с катодом (с «землей») через конденсатор C7.

Развязывающие фильтры включены также в анодные цепи всех ламп (R5C9, R8C20 и R6C18). Постоянное напряжение на экранные сетки ламп Л1 и Л2 подается через гасящие сопротивления R4, R7.

На чертежах 10 и 11 приведена упрощенная схема нашего супергетеродина, на которой показаны пути прохождения токов по различным цепям, а также напряжения на некоторых участках. Упрощение схемы в основном заключается в том, что приемник показан как однодиапазонный. Поэтому на схеме отсутствует переключатель П1, контурные катушки СВ и КВ диапазонов, а также все подстроечные конденсаторы. На схеме не показан регулятор тембра, сетевой предохранитель, выключатель сети и конденсатор C32. Все детали пронумерованы в полном соответствии с принципиальными схемами узлов приемника (чертежи 9, 12 и 16).

На чертежах 10 и 11 красными линиями показаны пути переменных токов, а зелеными — постоянных. Пунктирные линии соответствуют некоторым ответвлениям того или иного тока. Толщина линий в какой-то степени пропорциональна величине тока.

Аналогично красным и зеленым цветом изображены графики постоянных и переменных

напряжений или составляющих какого-либо напряжения. Желтые стрелки показывают, между какими точками это напряжение измеряется.

При обозначении напряжений и токов используются следующие сокращения: а — анодный, э — экранированный, с — сеточный, к — катодный, н — накальный, в — выпрямленный, см — смещение, сеть — сетевой, вч — высокой частоты (частота принимаемой станции), пч — промежуточной частоты, нч — низкой частоты, г — гетеродинный, зв — звуковой катушки громкоговорителя, пульс — пульсаций, II — на вторичной (повышающей) обмотке силового трансформатора, д — детекторный, ару — системы автоматической регулировки усиления.

Цифра, стоящая после индекса, указывает порядковый номер лампы, к которой относятся токи и напряжения. Некоторые обозначения напряжений помечены штрихами, которые приближенно характеризуют величину напряжения. Чем больше штрихов, тем больше и напряжение. **КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ**

Как уже говорилось, преобразователь частоты выполнен на панели ВЧ. Совершенно очевидно, что панель ВЧ подключается к панели ПЧ, а эта, в свою очередь, к панели НЧ, соединенной с выпрямителем.

Дополнительно к имеющимся входным контурным катушкам длинных и средних волн необходимо изготовить еще и гетеродинные L7L8 и L9L10, а также входные L5L6 и гетеродинные L11L12 катушки КВ диапазона.

Коротковат новые катушки могут быть изготовлены на унифицированных каркасах из полистирола (чертеж 5,е), на обычных картонных гильзах (чертеж 5,ж) или на других каркасах примерно такого же диаметра. Данные катушек, указанные в таблицах на стр. 123, приведены для однослойной намотки «виток к витку».

Мы уже говорили, что при изготовлении коротковолновых катушек часто применяют так называемую «принудительную» намотку, то есть делают обмотку с увеличенным шагом, с небольшими интервалами между соседними проводниками (стр. 98). Для этого намотку ведут сразу двумя проводниками, один из которых потом удаляют. При переходе от обычной намотки к принудительной несколько повышается добротность контура. Чтобы индуктивность катушки осталась неизменной, число ее витков следует увеличить на 10–30 %. Если катушку выполнить с увеличенным шагом, равным  $1,5d$  ( $d$  — это диаметр провода; если  $d = 0,8$  мм, то  $1,5d \sim 1,2$  мм), то расстояние между соседними витками будет равно  $0,5d = 0,4$  мм. Такую величину и должен иметь диаметр вспомогательного провода для принудительной намотки.

Коротковолновые катушки связи как в гетеродинном, так и во входном контуре выполнены на подвижных бумажных кольцах, перемещая которые можно менять связь между катушкой связи и соответствующей контурной катушкой.

При налаживании приемника может оказаться необходимым часть витков катушки обратной связи намотать непосредственно между витками контурной катушки. Чаще всего такая необходимость возникает в коротковолновом контуре.

Нужно сразу же сказать, что данные коротковолновых катушек можно рассматривать лишь как ориентировочные. Если катушка не имеет сердечника, то в процессе налаживания приемника число витков этих катушек приходится тщательно подбирать. Иногда нужно подбирать число витков и при наличии сердечника, особенно если используются какие-нибудь случайные каркасы. В принципе можно использовать каркасы коротковолновых катушек от любого приемника — «Балтика», «Родина», «Мир», «Звезда» и др. Подбор числа витков контурных катушек L6L11 производят тогда, когда приемник уже в основном налажен (стр. 284). При этом начинать следует с катушки гетеродина L11, так как она и определяет частоту принимаемой станции: при увеличении числа витков катушки L11 весь коротковолновый диапазон сдвигается в сторону более длинных волн.



При подборе числа витков катушки входного контура L6 нужно ориентироваться на максимальную громкость приема. Число витков катушки связи с антенной особого значения не имеет, и подбирать его не надо. Что же касается катушки обратной связи гетеродина L12, то здесь требуется очень тщательный подбор числа витков.

Гетеродинные катушки ДВ и СВ диапазонов могут быть выполнены так же, как и соответствующие катушки входных контуров. Средневолновая контурная катушка при однослойной намотке должна содержать 120 (90–4–30) витков провода ПЭ-0,12 (ПЭШО-0,1), а катушка обратной связи 20–30 витков.

Размещение катушек и других основных деталей на панели ВЧ видно из чертежа 17. Для супергетеродина необходимо вновь изготовить еще одну панель — ПЧ. На ней устанавливается семиштырьковая панелька для лампы 6К4П (Л2) и два каркаса — гильзы для самодельных контуров ПЧ (лист 174). На одном из этих каркасов размещают катушки L13 и L14 двухконтурного фильтра ПЧ — по две секции в каждой катушке. На втором каркасе размещены две секции контурной катушки L15 и катушка L16 связи (одна секция). Чтобы ослабить связь между анодным и сеточным контурами усилителя ПЧ, каркасы катушек этих контуров расположены под углом 90° один относительно другого: каркас катушек L13, L14 установлен непосредственно на панели ПЧ, а каркас катушек L15, L16 размещен на небольшой фанерной площадке, закрепленной на панели ПЧ с помощью прямоугольного деревянного бруска (чертеж 3).

Нужно прямо сказать, что применение в приемнике самодельных фильтров промежуточной частоты крайне нежелательно. Во-первых, самодельные контуры обладают низкой добротностью, во-вторых, их довольно трудно настроить и, в-третьих, и это, пожалуй, самое главное — самодельные контуры очень неудобно экранировать.

Опыт показывает, что из-за плохой экранировки в приемнике с самодельными контурами обычно возникает самовозбуждение на промежуточной частоте, бороться с которым не так-то просто. По всем этим причинам самодельные контуры ПЧ можно применять лишь в самом крайнем случае. В усилителе ПЧ лучше всего применить двухконтурные фильтры ПЧ любой конструкции от любого фабричного приемника, настроенные на 465 кГц. Фильтры эти должны быть в экране, и закрепить их можно непосредственно на панели ПЧ.

Промежуточную частоту 465 кГц имеют все отечественные радиоприемники, за исключением приемников «АРЗ», «Москвич» и «Рекорд» самых первых выпусков. Два наиболее распространенных типа двухконтурных фильтров промежуточной частоты показаны на листе 173. Катушки первого из них (от приемников «Родина-52», «Звезда», «Дорожный» и др.) выполнены в горшкообразных сердечниках СБ-1а. Во втором типе двухконтурного фильтра (от приемников «Рекорд-52», «Стрела», «Заря» и др.) используются катушки, намотанные на двухсекционных каркасах, которые снабжены ферритовыми кольцами и сердечником. Почти во всех типах фабричных фильтров промежуточной частоты средняя индуктивность катушек примерно равна 1000 мкГн (900—1100 мкГн), а емкость конденсаторов 120–140 пФ (лист 173).

При использовании фабричных двухконтурных фильтров вместо катушки связи L16 окажется включенным контур L16C24, что несомненно улучшит избирательность приемника. Совершенно ясно, что никаких изменений в схеме приемника при этом делать не нужно.

Во время монтажа панелей ВЧ и ПЧ следует помнить, что все соединения высокочастотных цепей должны производиться кратчайшими путями. В частности, анод геттодной части Л1 лучше всего соединить с катушкой L13, установленной на панели ПЧ, коротким проводником, помимо гребенок Г1 — Г2. НАЛАЖИВАНИЕ

О налаживании супергетеродинного приемника очень подробно рассказано в статьях В. Короля «Налаживание супергетеродина», опубликованных в журналах «Радио» № 3 (стр.

47–50) и № 4 (стр. 45–47) за 1954 год. Кроме того, вопросам налаживания приемников посвящены книги В. В. Енютин «Налаживание радиоприемников», издательство ДОСААФ, 1958 г., Г. А. Сницерева «Измерения при ремонте и налаживании радиоприемников», Связьиздат, 1955 и др. Ниже мы остановимся лишь на основных этапах налаживания приемника без специальных измерительных приборов.

Перед тем как включать приемник в сеть, нужно внимательно проверить правильность соединения всех цепей и, прежде всего, убедиться в том, что цепи постоянного анодного напряжения не замкнуты на «землю» («землей» мы в дальнейшем будем называть общий провод, подключаемый к гнезду «3»). Это можно сделать с помощью омметра, используя, например, авометр ТТ-1, Ц-20 и др., подключив его к конденсатору С35 (выпрямитель). Если приемник собран правильно, омметр покажет сопротивление 50—100 ком, причем в момент подключения прибора можно будет отметить «бросок» стрелки, обусловленный зарядкой конденсаторов С35 и С34 от батареи омметра. Если же прибор покажет сопротивление менее 1–5 ком (иногда можно обнаружить даже короткое замыкание), то нужно проверить исправность конденсаторов развязки и еще раз внимательно просмотреть весь монтаж. Лишь после того как этот дефект устранен, можно включить приемник в сеть и измерить режимы ламп (рис. 139), предварительно, конечно, измерив напряжение сети: при пониженном напряжении сети режимы ламп могут значительно отличаться от указанных на схеме.

Рис. 139. Налаживание супергетеродина, как и всякого другого радиоустройства, следует начинать с тщательной проверки монтажа и режимов (напряжений на различных электродах ламп).

Напомним, что режимом лампы мы называем постоянные напряжения на ее электродах. Эти напряжения устанавливаются подбором соответствующих сопротивлений — R4, R7 и R14 в цепях экранных сеток и R15, R18 в цепях катодов ламп. При подборе режимов не нужно стремиться к тому, чтобы они абсолютно точно соответствовали рекомендованным — изменение режимов на 5—10 % (а иногда и на 15–25 %) существенно не повлияет на работу приемника.

Если в вашем распоряжении нет специальных измерительных приборов — генератора сигналов и лампового вольтметра, то налаживание приемника следует начинать с гетеродина, добиваясь прежде всего его нормальной работы на одном из диапазонов, например на коротких волнах (рис. 140).

Рис. 140. Проверка работы гетеродина: если при коротком замыкании контура изменяется анодный ток лампы гетеродина (напряжение на аноде), значит, гетеродин работает.

Можно убедиться в наличии переменного напряжения на контуре гетеродина, замыкая этот контур конденсатором сравнительно большой емкости (0,001—0,1 мкф) или простым проводником. Если гетеродин работал нормально, то при коротком замыкании контура колебания в нем прекратятся, и вследствие этого практически исчезнет сеточный ток лампы, который возникал при положительных полупериодах переменного напряжения на сетке. Постоянная составляющая сеточного тока, проходя по сопротивлению R2, создает на нем напряжение отрицательного смещения (около 5—10 в). Поэтому при срыве колебаний вместе с сеточным током исчезает отрицательное смещение и резко возрастает анодный ток лампы. В этом можно убедиться, включив миллиамперметр, рассчитанный на измерение тока 10–20 ма последовательно с сопротивлением R6, или измеряя напряжение на аноде (точнее, на конденсаторе С18). Чем больше анодный ток, тем больше падение напряжения на сопротивлении R6, тем меньше напряжение на аноде. Опытные любители обнаруживают срыв генерации посильным «щелчком», которые слышны в громкоговорителе при замыкании контура гетеродина.

Если при замыкании контура анодный ток лампы не возрастает (или напряжение на аноде не

падает), то значит, гетеродин не работает. В этом случае нужно прежде всего попробовать поменять местами концы катушки обратной связи или контурной катушки. Если это не даст желаемых результатов, то следует несколько сблизить эти катушки. Поворачивая ротор конденсатора настройки, нужно добиться нормальной работы гетеродина во всем диапазоне частот.

При налаживании гетеродина можно столкнуться с таким неприятным явлением, как прерывистая генерация, которая проявляется в виде сильного «рокота», прослушиваемого в громкоговорителе. Для того чтобы прекратить прерывистую генерацию, нужно включить последовательно с конденсатором С11 сопротивление величиной 50—200 ом, а также уменьшить расстояние между контурной катушкой и соответствующей катушкой обратной связи.

Выполняя все эти операции, нужно всегда проверять работу гетеродина на всем диапазоне: иногда может оказаться, что, чрезмерно раздвинув катушки, вы «сорвете» генерацию на каком-либо участке диапазона. Попутно укажем, что «прерывистая генерация» обычно наблюдается на коротковолновом участке диапазона, а «срыв» генерации — на длинноволновом участке. Последнее объясняется тем, что с уменьшением частоты ослабляется индуктивная связь между катушками.

Если нельзя добиться нормальной работы гетеродина указанными путями, то можно попытаться подобрать число витков катушки обратной связи и в самом крайнем случае величину сопротивлений R2, R6 и конденсатора С11.

Если гетеродин работает, то приемник должен сразу же принимать хотя бы одну-две станции — антенну следует временно подключить непосредственно к входному контуру, то есть к статору конденсатора С5. Приняв хотя бы одну станцию, следует сразу же подстроить в резонанс контуры ПЧ — сближением секций или с помощью сердечников, если они имеются. При этом можно ориентироваться на увеличение громкости приема (рис. 141, 142).

Рис. 141. Если контуры усилителя ПЧ даже немного расстроены один относительно другого, то приемник будет обладать очень плохой чувствительностью и избирательностью.

Рис. 142. По сигналу первой же принятой станции необходимо сразу подстроить фильтры ПЧ, добиваясь наибольшей громкости передачи.

На время настройки всех контуров приемника и в том числе контуров ПЧ необходимо отключить систему АРУ. Проще всего это сделать, замкнув накоротко конденсатор С25.

Наиболее сложным этапом налаживания супергетеродина является настройка входных и гетеродинных контуров и сопряжение их настроек. Настраивать эти контуры можно, ориентируясь на работающие радиостанции, пользуясь заранее начерченной шкалой (чертеж 6). Прежде всего нужно временно зашунтировать входной контур сопротивлением 10—20 ком (для того чтобы меньше проявлялись резонансные свойства этого контура).

Изменяя емкость подстроечных конденсаторов С12, С13 и С14 и индуктивность катушек L7, L9 и L11, необходимо добиться, чтобы прием той или другой станции соответствовал шкале приемника (рис. 143, 144).

Рис. 143. Границы диапазона устанавливаются с помощью заранее начерченной шкалы, подгоняя частоту гетеродина. При этом на низких частотах диапазона изменяют индуктивность контура (например, с помощью сердечника катушки).

Рис. 144. На высших частотах диапазона изменяют начальную емкость контура (например, с помощью подстроенного конденсатора).

Частоту принимаемой станции можно узнать с помощью какого-нибудь фабричного приемника. Затем, сняв шунтирующее сопротивление со входного контура, нужно подстроить и его, ориентируясь на наибольшую громкость приема. Входной контур должен также перекрывать диапазон частот, указанный на шкале. В заключение добиваются наилучшего сопряжения настроек контуров, ориентируясь на станции, работающие в трех точках каждого диапазона — в середине и на краях (лист 168).

При настройке входных и гетеродинных контуров следует помнить, что подстроечным конденсатором нужно пользоваться на высших частотах диапазона, то есть при выведенном роторе блока конденсаторов настройки, а подгонять индуктивность нужно на низших частотах, то есть при введенном роторе.

Основные элементы налаживания супергетеродинного приемника иллюстрируются рисунками 139–144. Рекомендуемый способ позволяет лишь приблизительно настроить приемник. Для точной его настройки необходимо иметь специальные приборы и прежде всего генератор сигналов.

В процессе налаживания приемника часто приходится устранять неисправность отдельных его деталей или неточности монтажа. Конечно, перечислить все возможные неполадки приемника очень трудно, можно указать лишь основные из них.

Из деталей, применяемых в приемнике, неисправной может оказаться любая: могут замкнуться электроды внутри лампы (например, сетка и катод), нарушиться контакты в переключателе диапазонов или ламповой панельке, могут замыкаться на каком-нибудь участке диапазона роторные и статорные пластины конденсатора настройки, может оказаться пробитым диэлектрик в конденсаторе постоянной емкости (в этом случае конденсатор ведет себя как обычный проводник), возможно нарушение контакта в выводах конденсаторов, а также постоянных и переменных сопротивлений и т. д. и т. п.

Обычно обнаружить какую-нибудь из этих неисправностей можно сравнительно легко, используя простейший прибор — авометр или заменяя проверяемую деталь другой, заведомо исправной. К сожалению, помимо неточностей монтажа и не исправных деталей, при налаживании приемника нередко встречаются и другие неполадки, устранить которые не всегда легко и просто.

Одно из самых неприятных явлений, с которым приходится сталкиваться в процессе налаживания приемника — его самовозбуждение. Обычно оно проявляется в виде сильных «свистов», громкость и тон которых могут оставаться неизменными на всех диапазонах. Причиной самовозбуждения является «паразитная» положительная обратная связь, которая может появиться в любом из каскадов приемника или сразу в нескольких каскадах. Такая обратная связь обычно возникает из-за неудачного расположения отдельных деталей или монтажных цепей, а также из-за попадания переменных составляющих анодного или экранного тока в общие питающие цепи.

Чаще всего самовозбуждение возникает в усилителе ПЧ и преобразователе частоты. Реже наблюдается самовозбуждение усилителя НЧ.

Для того чтобы обнаружить каскад, в котором происходит самовозбуждение, можно поочередно вынимать из приемника лампы, начиная с первой, или снижать напряжение на аноде и экранной сетке той или иной лампы, увеличивая соответствующее гасящее сопротивление ( $R_4$ ,  $R_7$ ,  $R_{14}$ ) и сопротивление фильтра ( $R_5$ ,  $R_6$ ,  $R_8$ ).

Чтобы предотвратить самовозбуждение усилителя ПЧ, прежде всего нужно устранить паразитную связь между анодной и сеточной цепью лампы Л2 и особенно между катушками  $L_{13}L_{14}$ , с одной стороны, и  $L_{15}L_{16}$  — с другой стороны. Конечно, лучше всего применить экранированные контуры ПЧ от фабричных приемников. Экраны этих контуров необходимо

заземлить, то есть соединить с общим «заземленным» проводом. В случае применения самодельных контуров ПЧ можно устранить нежелательную связь между ними, расположив катушки под углом  $90^\circ$ , а также поместив каркас с катушками L15L16 в экран из алюминия, латуни или белой жести (чертеж 3). Следует помнить, что экранирование несколько изменяет индуктивность катушки, а следовательно, и резонансную частоту контура, но это не очень страшно, так как в экран помещается лишь один колебательный контур L15C23, частоту настройки которого можно принять за основу и уже по ней подстраивать другие контуры ПЧ — L13C21 и L14C22 (для случая самодельных контуров).

Если и после экранирования анодного контура усилителя ПЧ самовозбуждение не прекратится, то можно попробовать увеличить в полтора-два раза сопротивления развязывающих фильтров, снизить напряжение на экранных сетках на 15–50 % и, наконец, включить в цепь катода лампы Л2 небольшое (100–300 ом) сопротивление. За счет этого сопротивления в усилителе возникнет отрицательная обратная связь (лист 157), которая скомпенсирует «паразитную» положительную связь, являющуюся причиной самовозбуждения. Правда, введение отрицательной обратной связи заметно снижает усиление каскада и поэтому может быть рекомендовано лишь в качестве крайней меры. Избавиться от самовозбуждения в преобразователе частоты, как правило, удастся путем рационального размещения деталей, сокращения длины монтажных проводов и, в крайнем случае, уменьшения экранного напряжения лампы Л1.

Другое неприятное явление, с которым можно столкнуться при налаживании приемника, — фон переменного тока, о котором уже рассказывалось весьма подробно. Возможны две основные причины появления фона: первая — плохая фильтрация выпрямленного (анодного) напряжения и вторая — наводка от проводов, по которым проходит питающий переменный ток.

Обе причины могут возникать одновременно (стр. 212).

Для улучшения фильтрации анодного напряжения в блоке питания можно применить дроссель вместо сопротивления R19. Для борьбы с наводками, создающими фон, необходимо помещать в экран все провода сеточной цепи лампы Л3 — провода, идущие к детектору, регулятору громкости, гнездам звукоснимателя.

В супергетеродинном приемнике существует еще одна причина фона: паразитная модуляция в преобразовательном каскаде. Если напряжение на аноде гетеродина плохо отфильтровано или на деталях гетеродинного контура появляются большие наводки, то в этом каскаде высокочастотный сигнал может подвергнуться паразитной модуляции с частотой 50 гц. Для борьбы с этим явлением можно попробовать параллельно с конденсатором С18 включить электролитический конденсатор на 5—20 мкф и 300 в.

Следует заметить, что фон и даже самовозбуждение на низкой частоте могут появиться, если окажутся незаземленными корпус и ось переменного сопротивления. Чтобы заземлить ось, достаточно под гайку, с помощью которой закрепляется сопротивление, подложить жестяную пластинку, соединив ее с «земляным» проводом, или, что то же самое, с экранирующим чулком.

В процессе налаживания приемника может возникнуть необходимость значительно изменить данные деталей, приведенные на схеме и в описании.

Прежде всего, вместо силового трансформатора от приемника «Рекорд» можно с успехом применить трансформатор от любого другого приемника, не считаясь с тем, что в этом случае режимы ламп могут заметно отличаться от приведенных на схеме.

В зависимости от того как выполнен монтаж, может значительно изменяться емкость колебательных контуров. Это может потребовать введения в контуры (чаще всего на ДВ и СВ

диапазонах) дополнительных конденсаторов емкостью 5—50 пф, которые следует подключать параллельно соответствующим подстроечным конденсаторам. Большое значение имеет точный подбор сопрягающих конденсаторов. Для удобства настройки приемника (сопряжения контуров) на ДВ и СВ диапазонах целесообразно параллельно сопрягающим конденсаторам включать подстроечные конденсаторы емкостью 5—30 пф. Эти конденсаторы в основном будут влиять на настройку на низших частотах диапазона.

В ряде случаев может оказаться необходимым несколько изменить число витков контурных катушек и особенно катушек обратной связи. При подборе индуктивности контуров длинных и средних волн, а также контуров ПЧ, выполненных на картонных гильзах, следует обращать внимание на то, чтобы отдельные секции какой-либо катушки были намотаны в одну и ту же сторону и чтобы конец одной из секций был соединен с началом другой. В этом случае при сближении секций общая индуктивность катушки растет (резонансная частота контура падает) так же, как и при вдвигании в катушку сердечника! Если перемещением секций или сердечника не удастся установить нужную частоту контура, то следует постепенно изменять число витков в одной из секций.

Следует заметить, что для ослабления помех с частотой, равной промежуточной, в ряде случаев может оказаться необходимым включение в антенную цепь фильтра с теми же данными, что и у любого контура ПЧ, например L15C23. Схема включения такого фильтра показана на листе 163.

Налаживание приемника — процесс достаточно трудоемкий, требующий внимания, большого терпения и, самое главное, вдумчивого отношения ко всем явлениям, с которыми приходится сталкиваться при настройке того или иного каскада. Поиски неисправностей наугад, бессистемная замена деталей, нежелание задуматься над возможными причинами той или иной неполадки — все это в итоге приводит к большим потерям времени, а иногда вообще мешает довести работу до конца.

## Глава 8

### НАСТОЯЩИЙ ПРИЕМНИК

Сделаны последние пайки, закреплены сердечники в катушках после окончательной настройки контуров, проверена работа супергетеродина на различных диапазонах и в разное время. Приемник работает хорошо, принимает много станций на длинных, средних, а также на коротких волнах, усилитель низкой частоты громко и чисто воспроизводит грамзаписи.

И все же то, что вы построили, трудно назвать настоящим приемником: большие габариты, громоздкая конструкция, отсутствие футляра — все это заставляет считать, что нами построен лишь действующий макет приемника. Кстати, постройка макета является обязательным этапом в создании какого-либо электронного устройства (рис. 145).

Рис. 145. Обычно для проверки новой схемы какого-либо электронного устройства делают электрический макет.

Опытные конструкторы, квалифицированные радиоспециалисты, прежде чем разрабатывать опытный образец приемника или телевизора, строят электрические макеты отдельных узлов, на которых изучают и отрабатывают схемы, уточняют данные деталей, режим ламп и т. д. Лишь после того как макет окончательно отработан, можно приступать к постройке опытного образца.

Подобным образом поступим и мы — построив действующий макет супергетеродина, выполненный на отдельных панелях, перейдем к изготовлению настоящего приемника, который по своей конструкции должен быть похож на один из промышленных образцов. Все детали приемника будут размещены на одном небольшом деревянном, а еще лучше

металлическом шасси, которое мы установим в деревянный футляр. При этом приемник не только приобретет хороший внешний вид. Разместив все детали на одном шасси, мы сделаем монтаж более компактным и аккуратным, уменьшим число опорных монтажных лепестков и сократим длину соединительных проводов. Благодаря этому ослабятся паразитные обратные связи и появится возможность повесить усиление отдельных каскадов. Кроме того, благодаря сокращению соединительных проводов уменьшатся наводки и снизится уровень фона.

Конструктивных вариантов приемника может быть бесчисленное множество. Выбирая тот или иной вариант, вы можете взять за образец какой-нибудь заводской приемник — «Рекорд», «Зарю», «Волну» и т. п. Можно воспользоваться и образцом радиолюбительской конструкции. Можно, наконец, создать конструкцию самому. Для этого нужно тщательно измерить размеры основных деталей и, вооружившись листом миллиметровки, найти наиболее удачный вариант их размещения и необходимые размеры шасси. ТРИ СХЕМЫ...

На чертежах 18, 21 и 22 показаны три конструктивных варианта радиолюбительских супергетеродинов. Любой из них вы можете взять за основу при конструировании своего приемника. Все три приемника выполнены по примерно одинаковым схемам, но на различных типах ламп.

Схема первого из приемников (чертеж 19) почти полностью повторяет схему нашего электрического макета: здесь применены те же усилительные лампы: 6И1П, 6К4П, 6Ж1П, (6Ж3П) и 6П1П, те же схемы отдельных узлов: входной цепи, преобразователя частоты, детектора усилителей ПЧ и НЧ, а также сохранена нумерация основных деталей. Некоторое отличие представляет лишь схема регулировки тембра и блока питания.

Регулировка тембра осуществляется в специальной цепи отрицательной обратной связи, которая возникает благодаря включению конденсатора С31 между анодом и управляющей сеткой лампы Л4. Так как емкость конденсатора С31 очень мала, то этот конденсатор не пропускает из анодной цепи на сетку низшие звуковые частоты, и обратная связь в основном существует лишь на высших звуковых частотах. А поскольку обратная связь в данной схеме получается отрицательной, то она ослабляет сигнал, поступающий на сетку лампы с предыдущего каскада, причем ослабляет лишь высшие звуковые частоты этого сигнала. Иными словами, благодаря введению обратной связи у частотной характеристики усилителя появляется «завал» в области высших частот (рис. 146).

Рис. 146. Если цепь отрицательной обратной связи имеет разное сопротивление на высших и низших частотах, то с ее помощью можно регулировать тембр.

Нарисованная нами картина в полной мере относится к случаю, когда движок потенциометра R16 («регулировка тембра») находится в верхнем (по схеме) положении и все напряжение, поступающее через конденсатор С31, полностью подается на сетку лампы. Теперь представьте себе, что движок потенциометра R16 находится в крайнем нижнем положении. В этом случае конденсатор замкнут на «землю», напряжение обратной связи на сетку не поступает, и «завала» частотной характеристики нет. Совершенно ясно, что если мы будем перемещать движок потенциометра из одного крайнего положения в другое, то будет изменяться глубина обратной связи, а вместе с ней и степень «завала» частотной характеристики, то есть, иными словами, будет происходить регулировка тембра.

В блоке питания рассматриваемого приемника выпрямитель выполнен по так называемой мостовой схеме (лист 177). Прежде чем разбирать ее, нам придется коротко остановиться на схеме двухполупериодного выпрямителя (лист 176), которая используется во втором приемнике.

Рассмотренная нами ранее (стр. 168) схема выпрямителя называется однополупериодной.

Название это связано с тем, что в таком выпрямителе ток через клапан проходит лишь в течение одной половины периода, а во время второго полупериода наступает пауза — клапан тока не пропускает. Особую роль при этом играет первый конденсатор фильтра — Сф1 (С34). Когда клапан пропускает ток, этот конденсатор заряжается (то есть накапливает заряды), а во время паузы он разряжается через нагрузку — через анодные цепи ламп. Учитывая все это, конденсатор Сф1 можно назвать накопительным конденсатором. Именно благодаря этому конденсатору ток через нагрузку протекает все время, а не только в те моменты, когда проходит ток через клапан.

Чтобы лучше уяснить роль накопительного конденсатора, представьте себе, что у вас имеется бак с открытым краном у самого дна и что кто-то через равные промежутки времени ведром доливают в этот бак воду (рис. 147).

Рис. 147. Первый конденсатор фильтра Сф1 (С34) можно сравнить с баком, который периодически наполняется водой (импульсы тока через клапан) и отдает эту воду в виде непрерывной струи (постоянный ток, потребляемый нагрузкой).

Можно так подобрать емкость бака и количество доливаемой воды, что бак никогда не будет оставаться пустым и из крана все время будет бежать струя воды. Такая система очень похожа на наш выпрямитель: бак играет роль накопительного конденсатора Сф1, открытый кран характеризует потребление тока нагрузкой, а доливание воды ведром напоминает импульсы тока, которые проходят через клапан пятьдесят раз в секунду. Что же касается выпрямленного напряжения, то его можно сравнить со средним давлением воды на дно бака. Очевидно, это давление зависит от среднего уровня воды в баке.

Развивая наше сравнение, можно сделать ряд очень интересных выводов относительно работы выпрямителя. Прежде всего отметим, что ток через нагрузку будет пульсировать, то есть будет периодически меняться по величине, подобно тому как меняется скорость воды, вытекающей из крана (чем ниже уровень воды в баке, тем медленнее она вытекает). Мы уже знаем, что, для того чтобы сгладить пульсацию тока, в фильтр выпрямителя вводят дроссель (или сопротивление) и еще один конденсатор Сф2 (С35). Попутно заметим, что, чем больше потребляемый ток, тем сильнее будут его пульсации (чем больше открыт кран, тем резче меняется уровень воды за время между двумя доливаниями). Величина пульсаций зависит также и от емкости накопительного конденсатора: чем больше эта емкость, тем большую энергию накопит конденсатор в то время, когда клапан пропускает ток, тем меньше будут пульсации.

Аналогично при увеличении емкости бака возрастет объем запасаемой в нем воды и уменьшается влияние открытого крана: чем больше запас воды, тем меньше меняется ее уровень за время между двумя доливаниями.

От величины потребляемого тока и от емкости накопительного конденсатора Сф1 сильно зависит и напряжение на выходе выпрямителя: чем больше емкость Сф1 и чем меньше потребляемый ток, тем больше выпрямленное напряжение (чем больше емкость бака и чем меньше воды вытекает через открытый кран, тем больше средний уровень воды в баке). Совершенно очевидно, что ни при каких обстоятельствах напряжение на конденсаторе не может оказаться больше амплитуды переменного напряжения, которое подводится к выпрямителю и через клапан заряжает накопительный конденсатор. Точно так же максимальный уровень воды в баке не может быть выше уровня ведра, из которого заливают этот бак, — вода может литься сверху вниз, но не наоборот.

Что же касается выпрямленного, то есть среднего напряжения, то его величина, как мы уже отмечали, зависит от емкости Сф1 и потребляемого тока и практически на 20–50 % меньше амплитуды переменного напряжения. Выпрямленное напряжение оказывается равным амплитуде переменного напряжения лишь при «холостом ходе», то есть тогда, когда



выпрямитель работает без нагрузки. И, наконец, последнее — уровень воды в баке не должен превышать высоты его стенок, иначе вода перельется через верх.

Так же и напряжение, подводимое к конденсатору, не должно превышать величину, на которую он рассчитан, иначе произойдет пробой этого конденсатора (повреждение изолятора и короткое замыкание обкладок). Оба конца повышающей обмотки силового трансформатора окажутся замкнутыми через вентиль, в результате чего в цепи пойдет большой ток и трансформатор и вентиль, быстро перегревшись, выйдут из строя.

Следует заметить, что, когда возрастает ток в повышающей обмотке, увеличивается потребляемая трансформатором мощность, а следовательно, и ток в сетевой обмотке, куда включен предохранитель. Это значит, что в случае «пробоя» конденсатора фильтра мгновенно сгорит предохранитель и одна из самых дорогих деталей приемника — силовой трансформатор — будет спасен (конечно, лишь в том случае, если вы еще не успели заменить настоящий предохранитель толстым «жучком», рис. 148).

Рис. 148. Устанавливая вместо плавкого предохранителя более толстый провод, вы рискуете вывести из строя силовой трансформатор и ряд других деталей.

Обратите внимание на то, что в верхнем и нижнем рядах рисунка 147 изображены совершенно одинаковые баки и в то же время во втором случае пульсации намного меньше, а средний уровень воды заметно выше. А дело здесь в том, что бак, расположенный в нижнем ряду, доливадается в два раза чаще, чем верхний, и поэтому уровень воды меняется весьма незначительно.

Рассуждая подобным образом, можно прийти к следующему выводу: чем чаще мы будем подзаряжать накопительный конденсатор фильтра Сф1, тем больше будет выпрямленное напряжение и меньше будут его пульсации.

Но как можно увеличить частоту импульсов зарядного тока? Ведь не можем же мы изменить частоту переменного напряжения, которое подводится к вентилю — эта частота всегда равна 50 гц («частота сети»)!

Оказывается, что есть другой путь. Чтобы подзаряжать конденсатор Сф1 не пятьдесят раз в секунду, а сто раз, достаточно использовать напряжение второго полупериода, во время которого вентиль обычного однополупериодного выпрямителя тока не пропускает. Нам уже давно известно, что любой вентиль пропускает ток лишь во время положительных полупериодов переменного напряжения, а во время отрицательных полупериодов диод оказывается включенным в обратном направлении (или на аноде кенотрона оказывается «минус») и тока в цепи нет. Но ведь сами названия «положительный» и «отрицательный», которые мы присвоили полупериодам переменного напряжения, совершенно условны. Можно включить вентиль так, что он будет пропускать ток во время первого, третьего, пятого и других нечетных полупериодов. Если повернуть вентиль в обратную сторону (лист 176), ток через нагрузку будет протекать во время второго, четвертого, шестого и других четных полупериодов. Если же взять силовой трансформатор с двумя одинаковыми повышающими обмотками и два вентиля, то можно построить схему, где ток через нагрузку будет протекать в одну и ту же сторону как во время четных, так и во время нечетных полупериодов (лист 176).

Такой выпрямитель получил название двухполупериодного. Совершенно ясно, что в двухполупериодном выпрямителе подзарядка накопительного конденсатора будет происходить уже не пятьдесят, как это было в однополупериодном, а сто раз в секунду. При этом, как уже отмечалось, увеличится выпрямленное напряжение (обычно на 15–25 %) и заметно уменьшатся пульсации. Кроме того, при переходе на двухполупериодное выпрямление основная частота пульсаций увеличится вдвое. Это значит, что конденсаторы

фильтра Сф1 и Сф2 легче будут замыкать на «землю» переменную составляющую выпрямленного тока, так как, чем больше частота, тем меньше емкостное сопротивление конденсаторов.

Есть у двухполупериодного выпрямителя и свои недостатки — для него нужно иметь два вентиля и две повышающие обмотки. Что касается двух вентиляей, то это не так уж страшно, особенно в тех случаях, когда применяется кенотрон. Дело в том, что почти все кенотроны делают с двумя анодами и поэтому одной лампы вполне достаточно для двухполупериодного выпрямителя. Поскольку в таком выпрямителе катоды вентиляей все равно соединяют вместе, то в большинстве двуханодных кенотронов делают один общий катод. Именно с этого общего катода на нагрузку подается «плюс» выпрямленного напряжения, то есть с катода кенотрона напряжение должно подаваться к анодным и экранным цепям усилительных ламп.

В силовом трансформаторе вместо двух повышающих обмоток наматывают одну обмотку с удвоенным числом витков и от середины ее делают отвод. С этого отвода, который является общим выводом обеих частей повышающей обмотки, к нагрузке подводится «минус» выпрямленного напряжения, то есть средний вывод — «средняя точка» — должен быть подключен к катодам усилительных ламп.

В подавляющем большинстве случаев средний вывод соединяется с металлическим шасси или с «заземленным проводом», куда, как известно, подключаются и катоды ламп. Исключение составляет лишь схема получения смещения за счет общего тока (лист 139).

То, что мы выполнили обе повышающие обмотки в виде одной, не устранило второго недостатка двухполупериодного выпрямителя, так как в такой объединенной обмотке число витков в два раза больше, чем в одной обмотке однополупериодного выпрямителя. Так, например (лист 116), если у нас был однополупериодный выпрямитель, повышающая обмотка которого содержала 1200 витков и давала эффективное переменное напряжение 200 в (амплитуда 280 в), то для постройки аналогичного двухполупериодного выпрямителя повышающая обмотка должна содержать 2400 витков (2 x 1200), а между крайними выводами этой обмотки будет действовать эффективное напряжение 400 в (амплитуда около 600 в).

Увеличение числа витков повышающей обмотки крайне нежелательно, так как при этом усложняется изготовление трансформатора и увеличиваются его габариты. Поэтому там, где это возможно, строят двухполупериодный выпрямитель по так называемой «мостовой» («мостиковой») схеме, которая позволяет обойтись лишь одной повышающей обмоткой. Это значит что из обычного однополупериодного выпрямителя можно собрать по мостовой схеме двухполупериодный, без замены и даже без переделки силового трансформатора.

Работа мостовой схемы особого пояснения не требует. В ней используется четыре вентиля, и включены они так, что во время обоих полупериодов через нагрузку проходит ток, причем этот ток всегда проходит в одну и ту же сторону (лист 177). Мостовую схему принято вычерчивать в виде квадрата, каждая сторона которого содержит вентиль, одна диагональ — нагрузку, а вторая — генератор переменного тока. В нашем приемнике, схема которого приведена на чертеже 19, используется тот же силовой трансформатор от приемника «Рекорд», что и в блоке питания макета (чертеж 9), но благодаря двухполупериодному выпрямителю (мостовая схема) несколько повышается анодное напряжение, а также уменьшается уровень фона.

При выборе трансформатора для мостовой схемы нужно помнить, что его повышающая обмотка ни в коем случае не должна соединяться с накальной, так как последняя заземляется.

Второй приемник (чертеж 20) выполнен на лампах с так называемым октальным восьмиштырьковым цоколем. Такие лампы с металлическими и стеклянными баллонами

начали широко выпускать еще в 1935–1936 годах, и на протяжении более чем двадцати лет они были основным типом приемно-усилительных ламп. Еще и сейчас различные лампы с октальным цоколем очень широко используются радиолюбителями.

Приемник имеет несколько известных нам схемных особенностей и, в частности, регулятор тембра в цепи обратной связи и двухполупериодный выпрямитель на кенотроне 5Ц4С. Особенностью этого кенотрона является то, что катод внутри баллона соединен с нитью накала. Напомним, что с катода кенотрона мы снимаем «плюс» выпрямленного напряжения, и поэтому питание накала кенотрона осуществляется от отдельной обмотки, тщательно изолированной от всех других обмоток, которые так или иначе соединены с «землей». В выпрямителе используется весьма распространенный силовой трансформатор ЭЛС-2, имеющий следующие данные: сердечник Ш32х40, секции первичной обмотки Ia и Ib (напряжение 110 в) содержат по 400 витков провода ПЭ-0,33, а секции Ia и Ib (напряжение 17 в) — по 60 витков того же провода. Повышающая обмотка содержит 1730 витков с отводом от середины (2 х865 витков) провода ПЭ-0,18, обмотка накала ламп — 26 витков ПЭ-1,0, обмотка накала кенотрона — 20 витков ПЭ-0,93. На каркасе обмотки располагаются, как обычно: сначала идут сетевые обмотки, затем повышающая и, наконец, обе накальные. Между сетевой и повышающей обмотками, как правило, располагается один слой тонкого провода, имеющий лишь один вывод. Это так называемый электростатический экран, который препятствует прохождению помех из сети в приемник. Вывод электростатического экрана необходимо заземлить (иногда это уже сделано в самом трансформаторе).

В силовом трансформаторе ЭЛС-2 применена оригинальная система переключения сетевых обмоток (лист 117). При напряжении сети 220 в включаются последовательно секции Ia и Ib, каждая из которых рассчитана на напряжение 110 в (110 в + 110 в = 220 в). При напряжении сети 110 в эти секции соединяются параллельно, а это равносильно включению одной секции с удвоенным сечением провода.

То, что при напряжении 110 в сечение провода сетевой обмотки должно быть больше, чем при напряжении 220 в, вполне понятно: поскольку приемник всегда потребляет одну и ту же мощность, то при более низком напряжении ток в сетевой обмотке оказывается больше. Так, например, если приемник потребляет от сети 66 вт, то при напряжении 220 в по сетевой обмотке пойдет ток 0,3 а, а при напряжении 110 в этот ток будет равен 0,6 а. А чем больше величина тока в какой-либо обмотке, тем больше должно быть и сечение ее провода, чтобы этот провод не перегревался. Чем больше сечение провода, тем больше его поверхность, тем лучше этот провод излучает тепло, тем, следовательно, больший ток можно пропускать по нему, не опасаясь перегрева. Кроме того, увеличивая сечение провода, мы уменьшаем его сопротивление, а значит, уменьшаем ту часть подводимого напряжения, которая неизбежно теряется на самой обмотке. Если бы, включив приемник в сеть 110 в, мы не увеличили сечение провода сетевой обмотки (а это как раз и достигается параллельным соединением секций), то трансформатор начал бы перегреваться, а кроме того, заметно уменьшилось бы напряжение на всех его обмотках за счет чрезмерного падения напряжения на сетевой обмотке.

При работе приемника от сети 127 в к параллельно соединенным секциям Ia и Ib добавляются еще и две параллельно соединенные секции Ib и I г (на 17 в каждая; 110 в + 17 в = 127 в). Все необходимые переключения сетевых обмоток осуществляются с помощью октального (восьмиштырькового) цоколя от лампы и обычной ламповой панельки. Если вам придется самим составлять подобную схему переключений, то запомните, что при последовательном включении секций начало одной из них необходимо подключать к концу другой, а при параллельном включении начало соединяется с началом, а конец — с концом (все это при условии, что все секции намотаны в одну и ту же сторону). Схема переключения обмоток на чертеже 20 практически не отличается от схемы, приведенной на листе 117. Разница состоит лишь в месте отвода в одной из сетевых обмоток.

В обоих сетевых приемниках через сопротивление фильтра выпрямителя R19 проходят анодные и экранные токи всех ламп. При этом, конечно, на сопротивлении R19 теряется значительная часть выпрямленного напряжения, и к лампам подводится напряжение не более 160–180 в. Как вы уже знаете, эту величину можно заметно повысить, если анодный ток выходной лампы пропустить помимо сопротивления фильтра (чертеж 9, лист 125). Для этого достаточно напряжение на анод лампы (провод АЛ4) подать с конденсатора С34 и исключить одно из сопротивлений R19, чтобы улучшить фильтрацию напряжения, подводимого к лампам Л1, Л2, Л3 и экранной сетке Л4. В результате напряжения на электродах повысятся на 20–25 %, увеличится выходная мощность, улучшится чувствительность приемника. Что же касается изменений в схеме, то практически иногда возникает необходимость лишь несколько увеличить сопротивление R6 (чертеж 19) или R4 (чертеж 20).

Кроме регулятора тембра и двухполупериодного выпрямителя, во втором приемнике имеются еще две схемные особенности: трехточечная схема гетеродина и система АРУ с задержкой. Обе они заслуживают серьезного внимания, так как находят очень широкое применение в промышленных и любительских приемниках.

В серии ламп с октальным цоколем имеются четыре типа, предназначенных для использования в преобразователе частоты. Это лампы 6К8, 6А8, 6Л7 и 6А7.

Лампа 6К8 устроена почти так же, как и 6И1П, однако выпускалась она в очень небольших количествах и встречается довольно редко. Лампа 6А8 лет пятнадцать — двадцать назад применялась широко, и поэтому она и сейчас еще часто встречается у радиолюбителей. Особенность этой лампы заключается в том, что у нее анод гетеродинной (триодной) части выполнен в виде спирали и вместе с управляющей сеткой гетеродинной части помещен вблизи катода на пути общего электронного потока. Благодаря этому отпадает необходимость во второй управляющей сетке в преобразовательной части лампы. Используя лампу 6А8, гетеродин можно собирать по обычной схеме и на тех же катушках, которые предназначены для лампы 6И1П (может оказаться необходимым лишь подобрать число витков в катушках обратной связи).

Старая лампа 6Л7 и сравнительно новая 6А7 (лампа 6А7 в свое время имела еще ряд названий: 6SA7, 6A10 6A10C) предназначены для работы с отдельным гетеродином, то есть с гетеродином, выполненным на отдельной лампе, например на триоде. Поэтому в лампах 6Л7 и 6А7 триодной части нет и лишь имеются две управляющие сетки: на одну из них подается сигнал из входной цепи а к другой подводится высокочастотное напряжение от отдельного гетеродина.

Опыт эксплуатации лампы 6А7 показал, что она обладает хорошими качественными показателями, и были созданы схемы, позволяющие использовать лампу 6А7 в преобразователе частоты... без отдельного гетеродина. Одна из таких схем (первая схема на листе 178) получила очень широкое распространение, ее можно встретить в приемниках «Урал-52», «Урал-50», «Балтика», «Рекорд-57», «Рекорд-52», «Электросигнал-2», «Минск», «Москвич», «Рига-6», «Рига-10» и многих других. Именно эту схему мы применим и в нашем приемнике.

Для того чтобы создать положительную обратную связь, без которой, как известно, гетеродин не может работать, совсем не обязательно делать специальную катушку обратной связи. Можно включать контур в анодную цепь лампы и с этого же контура подать напряжение на управляющую сетку (напряжение обратной связи). Подобные схемы получили название трехточечных, потому что здесь к контуру подключены все три электрода лампы: анод, катод и управляющая сетка. Известны две основные трехточечные схемы: с индуктивной и емкостной обратной связью (лист 167). В первом случае напряжение положительной обратной связи подается на сетку с части витков контурной катушки, а во втором случае — с

делителя, который образован двумя контурными конденсаторами. В нашем приемнике гетеродин выполнен по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью и с заземленным по высокой частоте анодом, роль которого выполняет экранная сетка лампы 6А7 (лист 178).

Мы уже отмечали, что для упрощения монтажа в качестве одной из цепей используют металлические шасси, монтажную панель приемника или общий «земляной» провод, а детали, соединенные с шасси, называют «заземленными». Во всех приемниках к шасси подключают «минус» выпрямителя и поэтому «заземляют» катоды всех ламп. Анодный ток лампы, как известно, состоит из постоянной и переменной составляющих, и заземлить катод для одной из них еще не значит заземлить его для другой. Так, например, когда в катодную цепь, то есть между катодом и шасси, мы включаем сопротивление, шунтированное конденсатором (лист 179), то заземляем катод только для переменной составляющей (как говорят обычно, катод заземлен по переменной составляющей). Для постоянной составляющей катод можно считать заземленным лишь условно, так как на сопротивлении  $R_{кат}$ , то есть между катодом и шасси, действует небольшое постоянное напряжение. Если же мы соединим катод с шасси через дроссель, то он (катод) окажется заземленным лишь по постоянному току, так как для переменного тока дроссель будет обладать большим сопротивлением.

Все, что мы говорили о заземленном катоде, можно отнести к аноду, экранной сетке и управляющей сетке. Так, например, анод практически никогда не бывает заземленным по постоянному току, так как на анод подается «плюс», а заземляется почти всегда «минус» анодного выпрямителя; чрезвычайно редко встречается анод, заземленный по переменному току, так как в анодную цепь, как правило, включается сопротивление нагрузки. Экранная сетка, наоборот, по переменному току всегда заземлена через блокировочный конденсатор  $C_э$ .

Упрощенная схема гетеродина нашего приемника приведена на рисунке 149.

Рис. 149. В преобразователе на лампе 6А7 гетеродин собран по трехточечной схеме, где напряжение обратной связи подается на сетку с части витков контурной катушки, а анод (его роль выполняет экранная сетка) для высокочастотного тока заземлен через конденсатор.

Из этой схемы видно, что для переменного тока катод лампы не заземлен, так как соединен с шасси через часть контурной катушки  $L''к$ . Заземлен для переменного тока анод лампы (через конденсатор  $C_ф$ ). Часть контура  $L''к$  включена между анодом и катодом (анодная нагрузка), а с части контура  $L'к$  снимается напряжение положительной обратной связи. Когда такая схема выполняется на лампе 6А7, то в гетеродине используется катод, одна из управляющих сеток (обычно первая) и экранная сетка, выполняющая «по совместительству» роль анода гетеродина. С этой «ролью» экранная сетка справляется прекрасно, так как на нее, так же как и на анод, подается постоянное напряжение, а по переменному току эта сетка заземлена через конденсатор  $C_э$  (лист 178).

Для приемника можно взять те же гетеродинные катушки, которые использовались с лампой 6И1П. При этом катушки обратной связи ( $L_8$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{12}$ ) нужно будет удалить, а у контурных катушек ( $L_7$ ,  $L_9$  и  $L_{11}$ ) сделать отвод (рис. 149) от одной трети общего числа витков. Катушки включаются так, чтобы меньшая часть витков соответствовала секции  $L''к$  (включается между катодом и шасси), а большая часть витков секции  $L'к$  (включается между катодом и управляющей сеткой).

При желании можно использовать имеющиеся у нас катушки без всякой переделки, собрав гетеродин по нижней схеме, приведенной на листе 178. Здесь экранная сетка лампы 6А7, как и в предыдущей схеме, играет роль анода гетеродина. Основная разница состоит в том, что во втором случае катушки обратной связи включены непосредственно в цепь экранной сетки и поэтому ее уже нельзя заземлить через конденсатор  $C_э$ . В результате этого ухудшаются

усилительные свойства лампы и несколько падает чувствительность приемника.

И, наконец, последняя схемная особенность рассматриваемого приемника состоит в том, что в нем применяется система АРУ с задержкой (рис. 150, лист 181, 182).

Рис. 150. Вместо того чтобы выключать АРУ при приеме слабых сигналов, можно подать на анод диода небольшое отрицательное (или, что то же самое, на катод положительное) напряжение задержки.

Прежде чем разбирать эту систему, скажем, зачем она нужна.

Основная «работа» системы АРУ заключается в том, что она снижает усиление приемника, по мере того как возрастает напряжение сигнала на выходе (стр. 274). Тогда, когда на входе появляется сильный сигнал, система АРУ, резко снизив усиление, предохраняет усилитель низкой частоты от перегрузки, а радиослушателей — от оглушительного по громкости звука.

Но спрашивается, нужно ли снижать усиление приемника, когда уровень входного сигнала возрастает, но все еще остается очень слабым? Конечно, нет, и вы можете сами убедиться в этом на простом примере.

Предположим, что на входе приемника действует сигнал с напряжением 10 мкв. Это очень слабый сигнал, и создаваемый им в громкоговорителе звук будет очень тихим. Теперь предположим, что мы нашли другую станцию, которая создаст на входе приемника сигнал в 20 мкв; это, конечно, тоже очень слабый сигнал, но все же в два раза сильнее первого, и, очевидно, напряжение, которое теперь будет подводиться к громкоговорителю, также возрастет в два раза. Но, к сожалению, как только возрастет уровень сигнала на входе, вступит в действие система ЛРУ. Она уменьшит усиление приемника, и напряжение низкой частоты на выходе детектора возрастет уже не в два, а примерно в полтора раза. Таким образом, действующая «без разбора» система АРУ, которая очень нужна в случае сильного сигнала, приносит лишь вред при приеме слабых сигналов. Можно ли устранить этот недостаток? Очевидно, можно, если автоматически выключать АРУ тогда, когда напряжение входного сигнала мало. Такое выключение и осуществляется в системе АРУ с задержкой.

Представьте себе, что на детектор вместе с высокочастотным напряжением подается и постоянное, причем «минусом» на анод (или, что то же самое, «плюсом» на катод). Совершенно ясно, что отрицательное напряжение на аноде «запрет» диод и тока в нем не будет. А как теперь будет влиять на работу диода подводимое к нему напряжение высокочастотного сигнала? Очевидно, что во время отрицательных полупериодов высокочастотного сигнала запирающее напряжение на аноде диода будет возрастать, а во время положительных полупериодов — уменьшаться. Так, например, если на аноде действует постоянной отрицательное напряжение (напряжение «задержки») —1 в и переменное напряжение с амплитудой 0,5 в, то результирующее напряжение на аноде будет меняться от —1,5 в ( $-1 \text{ в} - 0,5 \text{ в} = -1,5 \text{ в}$ ) до —0,5 в ( $-1 \text{ в} + 0,5 \text{ в} = -0,5 \text{ в}$ ). При амплитуде сигнала 1 в напряжение на аноде будет меняться от —2 в до 0. Когда же амплитуда сигнала превысит напряжение «задержки» (—1 в), то на аноде моментами будет действовать положительное напряжение и в цепи диода будут появляться импульсы тока (лист 181). Так, например, если амплитуда переменного напряжения равна 2 в, то во время отрицательного полупериода напряжение на аноде будет достигать —3 в ( $-1 \text{ в} - 2 \text{ в} = -3 \text{ в}$ ), а во время положительных полупериодов на аноде будет появляться положительное напряжение +1 в ( $-1 + 2 \text{ в} = +1 \text{ в}$ ).

Из всего сказанного следует, что диод, на анод которого подано отрицательное напряжение задержки, начнет детектировать лишь после того, как напряжение сигнала превысит напряжение задержки. Иными словами, при слабых сигналах, которые не создадут на аноде лампы достаточного напряжения, детектор не будет работать. А поскольку в системе АРУ

регулирующее напряжение (отрицательное смещение на сетки усилительных ламп) появляется только тогда, когда в цепи диода, а значит, и по сопротивлению нагрузки этого диода пойдет ток, то можно считать, что, подав на анод диода отрицательное напряжение задержки, мы выключаем систему АРУ при приеме слабых сигналов.

В рассмотренной нами упрощенной схеме все получается очень хорошо, кроме одного: приемник с таким детектором... вообще не будет принимать слабых сигналов. Действительно, подав отрицательное напряжение на анод диода, мы не только выключим систему АРУ, но также выключим и детектор. Как говорит пословица, вместе с водой мы выплеснули из лохани и ребенка. Где же выход? А выход есть только один — нужно применить два диода. Один из них будет работать с «задержкой» и создавать регулирующее напряжение АРУ, другой диод будет использоваться для детектирования, и никакого постоянного напряжения мы на него подавать не будем (лист 182).

В схеме нашего приемника используется комбинированная лампа 6Г7 — двойной диод-триод. На триодной части этой лампы собран первый каскад усилителя НЧ, левый (по схеме) диод используется только для детектирования сигнала (детектор), правый — для получения регулирующего напряжения АРУ (выпрямитель АРУ).

Сигнал промежуточной частоты на детектор подается, как обычно, с контура L16C24 и с этого же контура через конденсатор C37 поступает на анод выпрямителя АРУ. В катодную цепь лампы включено сопротивление R15, благодаря которому на самом катоде появляется постоянное положительное напряжение около 1 в относительно шасси.

К шасси через сопротивление утечки R12 подключена управляющая сетка лампы и через сопротивление нагрузки R22 анод правого диода. Это значит, что на аноде правого диода, так же как и на сетке, будет действовать отрицательное напряжение относительно катода (напряжение «задержки» и напряжение «смещения»). Нагрузка детектора R11 подключается не к шасси, а непосредственно к катоду лампы, и поэтому между катодом и анодом левого диода (диод детектора) никакого постоянного напряжения не будет. Кроме рассмотренной схемы, существует еще ряд других способов подачи напряжения задержки на выпрямитель АРУ.

Вот мы и разобрали все схемные особенности первых двух приемников. Рассмотрим теперь схему супергетеродина, изображенную на чертеже 23. Этот приемник собран на батарейных лампах и предназначен для неэлектрифицированных сельских местностей. Приемник можно выполнить также в виде небольшого чемоданчика и использовать в туристских походах.

Приемник собран на четырех широко распространенных лампах: 1А2П, 1К2П, 1Б2П и 2П2П. Можно также применить аналогичные лампы 1А1П, 1К1П, 1Б1П, 2П1П, которые имеют такую же цоколевку и отличаются лишь несколько лучшими параметрами, но зато и повышенным потреблением тока.

Накальные цепи всех перечисленных ламп рассчитаны на питание постоянным током (катоды прямого накала, см. стр. 156) при напряжении 1,2 в. Особо следует отметить лампу 2П2П (2П1П): у нее имеются две соединенные последовательно нити накала, к которым можно подводить напряжение 2,4 в (отсюда и первая цифра в названии лампы). Если же соединить эти нити параллельно, то на лампу нужно подавать напряжение накала 1,2 в. Именно так и сделано в нашем приемнике, и поэтому все его лампы питаются от общей накальной батареи Бн. В качестве батареи Бн можно применить одну банку щелочного аккумулятора или любой гальванический элемент, желательно, конечно, большой емкости, например 1,5 НМЦГ-30 (ЗС). Можно также взять широко распространенный круглый элемент типа «Сатурн» (от карманного фонаря).

Следует заметить, что свежие гальванические элементы развивают э.д.с. 1, 4...1,6 в, а

батарейные лампы даже при небольшом перекале (питание повышенным напряжением) быстро теряют эмиссию и выходят из строя. Однако, несмотря на это, гальванический элемент можно смело подключать к приемнику: при подключении нагрузки — накальных цепей лампы — часть напряжения потеряется на внутреннем сопротивлении гальванического элемента и напряжение, подводимое к нитям накала, не превысит 1,1–1,3 в.

В качестве источника анодного напряжения можно применить анодную батарею с напряжением 60–90 в от любого промышленного батарейного приемника.

Преобразовательный каскад приемника выполнен на лампе 1А2П (1А1П), которая по своему устройству очень напоминает лампу 6А7. Во входной цепи для упрощения коммутации используется емкостная связь с антенной. Гетеродин выполнен по обычной схеме с включением катушек обратной связи в цепь экранной сетки, которая играет роль анода гетеродина (лист 178). Усилитель ПЧ собран на лампе 1К2П (1К1П), а усилитель НЧ на лампах 1Б2П и 2П2П (1Б1П, 2П1П). На диодной части лампы 1Б2П собран детектор и выпрямитель АРУ (разумеется, без задержки).

К особенностям рассмотренной схемы можно отнести лишь способ подачи отрицательного смещения на управляющую сетку выходной лампы (Л4). Дело в том, что подавать смещение обычным способом, то есть включая сопротивление в катодную цепь, в батарейном приемнике нельзя, так как в лампах прямого накала в катодной цепи протекает большой ток накала (обычно несколько десятков миллиампер), и включение сопротивления прежде всего приведет к недокалу ламп.

В нашем приемнике сопротивление R18, на котором образуется напряжение смещения, включено в общую «минусовую» цепь (лист 139). Анодные токи всех ламп, проходя по этому сопротивлению (с катода на «землю», с «земли» через R18 на «минус» анодной батареи), создают на нем постоянное напряжение, «минус» которого подводится к управляющей сетке лампы Л4 через развязывающий фильтр R23C38 и сопротивление утечки R17. Все остальные лампы приемника работают без отдельного источника смещения.

Рассмотрев схемы трех одинаковых и в то же время разных супергетеродинов, коротко остановимся на трех возможных вариантах их конструктивного выполнения. ... и ТРИ КОНСТРУКЦИИ

Конструктивной основой любого приемника является его шасси. Чаще всего шасси делают из какого-нибудь листового металла, например алюминия толщиной 1–1,5 мм или стали толщиной 0,8–1 мм, а иногда из фанеры или гетинакса. Прежде чем обрабатывать шасси (сверлить и пробивать отверстия, загибать края и т. п.), производят его тщательную разметку.

Для первого приемника можно предложить небольшое плоское шасси (чертеж 24, а). На шасси установлены силовой (Тр1) и выходной (Тр2) трансформаторы от приемника «АРЗ-59», стандартный блок конденсаторов и фильтры промежуточной частоты от приемника «Родина-52». Все входные и гетеродинные контуры и соответствующие им подстроечные и сопрягающие конденсаторы закреплены на отдельной панели из органического стекла или другого изоляционного материала (чертеж 18). Панель контуров располагается вблизи переключателя диапазонов.

Плоское шасси приемника с помощью двух деревянных брусков прикрепляется к акустическому экрану («отражательной доске»), который сделан из толстой фанеры. В самом шасси сделано прямоугольное отверстие, в которое входит магнитная система громкоговорителя 1ГД-9.

Для жесткой конструкции первого приемника, где абсолютно все детали закреплены на шасси, а к нему, в свою очередь, прикреплен акустический экран с громкоговорителем, можно



предложить целый ряд конструкций футляров (ящичков). Одним из оригинальных решений может явиться ящик с треугольным сечением, у которого роль передней наклонной грани будет играть акустический экран, затянутый какой-нибудь драпировочной тканью.

Конструкцию второго приемника (чертежи 21 и 24, б) в какой-то степени можно считать классической: подобное конструктивное решение вы найдете в большинстве простых любительских приемников и даже в ряде заводских образцов, например в «Рекорде», «Москвиче», «АРЗ» и др. Популярность такой конструкции у любителей объясняется тем, что она проста, удобна и позволяет легко подобрать или изготовить ящик.

В приемнике применены сравнительно старые, но зато весьма распространенные детали — лампы с октальным цоколем, кенотрон 5Ц4С, силовой трансформатор ЭЛС-2, выходной трансформатор от приемника «Рига-6» (сердечник сечением 3,8 см<sup>2</sup>, первичная обмотка — 2800 витков провода ПЭ-0,15, вторичная — 70 витков провода ПЭ-0,64), фильтры промежуточной частоты, которые впервые были использованы в приемнике 6Н1, а затем широко применялись во многих радиоприемниках и радиостанциях. Поскольку выходной каскад на лампе 6П6С при анодном напряжении 200–240 в может развивать мощность 2–4 Вт, то в приемнике целесообразно применить громкоговоритель 2ГД-3, 3ГД-2 или два громкоговорителя 1ГД-9, соединенных параллельно. В обоих случаях выходной трансформатор можно использовать без переделки, хотя для громкоговорителей 2ГД-3 или 3ГД-2 число витков вторичной обмотки желательно увеличить до 90.

При параллельном включении громкоговорителей (так же, как и при последовательном) нужно попробовать поменять местами провода, соединяющие один громкоговоритель с другим, подобно тому как мы меняем концы катушек обратной связи при налаживании гетеродина. При этом нужно добиваться наиболее громкого и чистого звука (фазировка громкоговорителей). Попутно заметим, что отсутствие нужного громкоговорителя или выходного трансформатора не должно приостанавливать ваших работ по постройке приемника: приемник будет работать с любым громкоговорителем и его можно подключить к выходной лампе через любой выходной трансформатор. Разумеется, в дальнейшем необходимо будет тщательно согласовать нагрузку с лампой, то есть подобрать такой выходной трансформатор, который позволит получить максимальную громкость при минимальных искажениях.

Несколько слов о монтаже приемника. Контурные катушки входной цепи и гетеродина разнесены. Вместе с подстроечными конденсаторами они закреплены непосредственно на шасси, хотя удобнее было бы применить монтажные панели из органического стекла или гетинакса. Такая панель, например, применяется для монтажа усилителя низкой частоты.

Шасси крепится к донной части ящика с помощью четырех болтов. Можно осуществить крепление шасси и с помощью двух болтов, сделав вместо боковых стенок лишь небольшие выступы, которые будут входить в пазы, образованные деревянными планками, прибитыми к боковым стенкам ящика.

Конструктивной основой третьего приемника является его передняя панель (фанерный акустический экран), к которой, в свою очередь, прикрепляется громкоговоритель и шасси со всеми деталями.

В приемнике применены фильтры промежуточной частоты от приемника «Заря», хотя можно и даже лучше применить фильтры от приемников «Родина», «Рекорд», «АРЗ» или «Стрела». Входные и гетеродинные контуры вместе с самодельными подстроечными конденсаторами расположены на отдельной монтажной панели.

На переднюю панель выводятся лишь две ручки: переключатель диапазонов и регулятор громкости с выключателем Вк1. Настройка приемника осуществляется поворотом стрелки,

которая жестко укреплена на оси ротора блока конденсаторов. Стрелку лучше всего выполнить в виде диска из органического стекла, на котором масляной краской проведена тонкая линия — диагональ. Как видно из схемы (чертеж 23), выключатель разрывает цепь питания накала ламп. При этом одновременно прекращается анодный ток ламп, потребляющий энергию анодной батареи. Однако незначительный разряд анодной батареи все же будет происходить, так как к ней подключено несколько конденсаторов (например, С34 или С9 через сопротивление R5), имеющих изолирующую прокладку между пластинками. Мы уже знаем, что ни один из изоляторов нельзя считать идеальным, так как через него все же проходит какой-то ток (ток утечки). Поэтому, если нужно выключить приемник на длительное время, то лучше вынуть из него идущий от батареи шланг питания, который подключается с помощью контактного разъема, сделанного из ламповой панельки и плоского цоколя от сгоревшей лампы с металлическим баллоном. Несмотря на то что на шасси удобнее было бы установить панельку, мы все же устанавливаем на нем цоколь, а панельку соединим с проводами, идущими к батареям, и тщательно изолируем ее снаружи. Если поступить наоборот, то на открытых ножках будет действовать накальное и анодное напряжение. При этом случайное замыкание ножек (например, две ножки одновременно касаются какого-нибудь металлического предмета) может сильно разрядить батарею. Кроме того, наличие напряжения на открытых ножках цоколя небезопасно: напряжение 40–50 в при определенных условиях может вызвать серьезное поражение электрическим током.

Если вы будете делать переносный вариант приемника, то батареи можно будет расположить в отдельном отсеке в нижней части ящика.

Любую из трех рассмотренных конструкций можно взять за основу для постройки приемника по любой из приведенных выше трех схем. При этом в каждую из конструкций можно вносить свои изменения в зависимости от собственного вкуса и имеющихся в вашем распоряжении деталей. Однако, внося те или иные изменения, нужно всегда помнить несколько основных правил конструирования и монтажа приемника:

- детали на шасси должны быть размещены так, чтобы все соединительные цепи, особенно высокочастотные, имели минимальную длину; в то же время детали сеточных и анодных цепей одного и того же каскада не должны быть слишком сдвинуты, для того чтобы между этими цепями не возникла положительная обратная связь; весьма удобно размещать основные детали (лампы и фильтры ПЧ) «в линейку», подобно тому как это сделано в первом приемнике;
- шасси приемника должны быть достаточно жесткими;
- блок конденсаторов желательно амортизировать с помощью резиновых прокладок;
- детали должны быть размещены так, чтобы в процессе налаживания приемника к любой из них легко было добраться;
- при конструировании ящика необходимо предусмотреть возможность быстрой замены радиоламп и предохранителей, а также свободный доступ к колодке переключения напряжений сети;
- ящик приемника должен иметь строгие и современные формы, а также тщательную отделку;
- при размещении ручек управления на передней панели нужно условно провести ось симметрии, которая может проходить либо через центр ящика, либо через центр шкалы настройки;
- для удобства монтажа в усилителе НЧ и блоке высокочастотных катушек целесообразно использовать монтажные панели из изоляционного материала;

- при монтаже можно пользоваться опорными точками — свободными лепестками ламповых панелей и других деталей, а также специальными лепестками, закрепленными на основании из изолятора;
- все длинные провода в цепях детектора, гнезд, звукоснимателя и сеточной цепи первого каскада усилителя НЧ необходимо экранировать, а экран тщательно заземлить;
- все соединительные цепи, отдельные детали и особенно опорные монтажные лепестки должны быть жестко закреплены с таким расчетом, чтобы не произошло случайного короткого замыкания между цепями или замыкания какой-нибудь детали на шасси;
- особенно внимательным нужно быть при монтаже (а также при налаживании) приемника, где в выпрямителе используются пат у проводниковые диоды, так как даже при кратковременном замыкании какой-нибудь «плюсовой» цепи на шасси<sup>^</sup>(то есть на «минус») диоды мгновенно выходят из строя.

В заключение можно посоветовать вам, перед тем как начинать конструирование своего приемника, внимательно познакомиться с несколькими образцами промышленных приемников, а также приемников, построенных опытными радиолюбителями. Там вы несомненно найдете для себя много полезного как в самой конструкции шасси и ящика, так и в размещении, креплении и монтаже отдельных деталей. ЧТО ЖЕ ДАЛЬШЕ?

Построив супергетеродинный радиоприемник, вы прошли первый курс «радиолюбительского университета», научились читать схемы и находить соответствие между принципиальной схемой и монтажом, познакомились с работой ламповых усилителей, с детектором, выпрямителем, генератором (гетеродином), различными фильтрами и другими элементами, которые можно встретить в любом радиоустройстве. В результате многочисленных экспериментов вы приобрели полезные практические навыки, необходимые при монтаже и налаживании радиоаппаратуры. Еще более важно то, что все свои работы вы проводили не «вслепую», не путем бездумного копирования каких-то образцов приемников, а путем внимательного знакомства с различными схемами, путем изучения физических основ работы отдельных деталей, путем объяснения наблюдаемых на практике явлений с помощью законов электротехники и радиотехники. Но, пожалуй, самое главное, что должен был дать вам весь пройденный путь, путь от детекторного приемника до супергетеродина, — это смелость и уверенность.

Смелость при экспериментировании, при замене одних деталей другими, при введении новых схемных элементов в уже действующий аппарат, при объяснении на первый взгляд непонятных явлений. Уверенность в том, что чудес не бывает, что любую правильно составленную и смонтированную схему можно наладить, любую неисправность обнаружить и устранить, в любом сложном вопросе разобраться.

Теперь для вас, по-видимому, не составит особого труда произвести в своем приемнике ряд усовершенствований, ввести в него ряд элементов, с которыми можно встретиться в других схемах.

Для начала давайте попробуем повысить чувствительность и избирательность приемника путем введения положительной обратной связи, как мы это уже делали в приемнике прямого усиления.

Обратную связь удобнее всего ввести в усилителе промежуточной частоты (чертеж 25, а). Для этого достаточно непосредственно на контурную катушку L13 или L14 намотать катушку обратной связи L17, которая может содержать 5—15 витков любого тонкого провода, например ПЭШО-0,15. Высокочастотный сигнал на катушку L'17 можно подать и с анода лампы и с ее катода (пунктирная линия).

Введение положительной и обратной связи может дать огромный эффект. С ее помощью, в частности, можно в пять — десять раз повысить чувствительность приемника, приблизив ее к чувствительности приемников первого класса. Еще больший эффект дает применение регенеративного детектора (диодный детектор при этом, естественно, исключается), одна из возможных схем которого приведена на чертеже 25,б.

Катушка L17 в регенеративном детекторе размещается так же, как и в усилителе ПЧ с обратной связью. Ее нужно намотать поверх горшкообразного сердечника катушки L13 (L14). В процессе налаживания может оказаться возможным упростить схему, например исключить звено фильтра R"8,C"20. Можно ввести и плавную регулировку обратной связи (это весьма удобно при приеме слабых станций) путем изменения напряжения на экранной сетке лампы. Для этой цели, так же как и в приемнике прямого усиления, проще всего использовать переменное сопротивление R16, взяв его из цепи регулировки тембра.

Есть и другой путь повышения чувствительности приемников — увеличение числа усилительных каскадов. Можно, например, ввести еще один каскад усиления промежуточной частоты на лампе 6К4П или 6К1П. Составить схему двухкаскадного усилителя ПЧ сравнительно просто, так как второй каскад будет точной копией первого. В таком усилителе будет шесть контуров ПЧ, то есть три двухконтурных фильтра. Совершенно очевидно, что на детектор сигнал нужно подавать со второго контура третьего фильтра ПЧ, а на сетку второго каскада — со второго контура второго фильтра.

Двухкаскадный усилитель ПЧ требует весьма тщательного налаживания, так как он больше, чем однокаскадный, склонен к самовозбуждению. Обычно в катодные цепи обеих ламп приходится включать сопротивление по 100–150 ом, на которых возникает напряжение отрицательной обратной связи.

Иногда дополнительный усилительный каскад устанавливают до преобразователя частоты. Это так называемый апериодический, то есть нерезонансный, усилитель ВЧ (чертеж 25, г). Такое название связано с тем, что между усилителем ВЧ и преобразователем (анодная цепь Л7, сеточная цепь Л1) нет настраиваемого колебательного контура.

Если применить в апериодическом усилителе ВЧ высокочастотный пентод с большой крутизной, например 6К4П, 6Ж4 или 6Ж5П, то этот каскад даст дополнительное усиление в пять — пятнадцать раз и, что особенно важно, улучшит условия приема слабых сигналов. Последнее связано с тем, что апериодический усилитель повышает уровень сигнала до преобразователя частоты, где обычно возникают сравнительно сильные «шумы».

На чертежах 25 г, г' и г" показаны три варианта цепи анодной нагрузки апериодического усилителя ВЧ. Обычно отдают предпочтение схеме г". Данные дросселей: Др1 — 80 витков, Др2 — 60 витков и Др3 — 25 витков провода ПЭШО-0,15. Все они намотаны на каркасах диаметром 5 мм и длиной 20 мм, причем у Др3 намотка однослойная, а у Др1 и Др2 — «в навал». Вместо специальных каркасов можно использовать обычные сопротивления на 0,5 Вт и более чем 50 Ом, Др2 можно намотать непосредственно на сопротивлении R32.

Другое усовершенствование, которое сравнительно легко осуществить, — это растянутая настройка на коротковолновом диапазоне. Дело в том, что на коротких волнах при повороте ротора конденсатора переменной емкости очень резко меняется частота настройки. Так, например, повороту ротора на один градус на ДВ диапазоне соответствует изменение частоты в среднем на 1,5 кгц, на СВ диапазоне при таком же повороте ротора частота настройки изменится уже на 5 кгц, а на коротких волнах — на 50 кгц. Это значит, что для того чтобы перестроиться с одной станции на другую в длинноволновом диапазоне, необходимо повернуть ротор конденсатора на 7 градусов, в средневолновом на 2, а в диапазоне коротких волн — всего лишь на 1/5 часть градуса. Естественно, что из-за этого сам процесс настройки на КВ диапазоне сильно усложняется, а иногда даже можно «проскочить» мимо нужной

станции.

Во многих промышленных и любительских приемниках для того чтобы облегчить настройку на коротковолновом диапазоне, его разбивают на несколько самостоятельных («растянутых») поддиапазонов, каждому из которых соответствует отдельное положение переключателя диапазонов, а значит, и полный поворот ротора конденсатора настройки. При этом на каждый градус поворота ротора приходится уже не 50 кгц, а значительно меньше.

Чтобы «растянуть» настройку на КВ диапазоне, то есть сделать ее более плавной, можно поступить иначе: ввести в приемник еще один элемент настройки, который позволит на любом участке коротковолнового диапазона в небольших пределах менять частоту гетеродина. Частоту входного контура менять не нужно, так как он имеет сравнительно «тупую» резонансную кривую и сразу пропускает большое число станций с близкими частотами.

В качестве элемента «растяжки» можно применить небольшой подстроечный конденсатор емкостью 10–30 пф или катушку индуктивностью 50—500 мкГн, с подвижным сердечником (лист 183). В конструктивном отношении удобнее применить конденсатор — ось его ротора легко вывести на переднюю панель рядом с ручкой основной настройки. Элемент растяжки подключают к части витков контурной катушки, обычно ко второму или третьему витку, считая от заземленного конца. Точку подключения конденсатора Срст или катушки Lраст лучше всего подбирать опытным путем.

И, наконец, третье, что можно было бы сравнительно легко сделать в нашем приемнике, — это установить в нем оптический индикатор настройки (только для сетевых приемников). Такой индикатор собирают на специальной лампе 6Е5С или 6Е1П (чертеж 25,б).

Лампа 6Е5С (6Е1П) фактически содержит две лампы: собственно индикатор и вспомогательный триод (рис. 151).

Рис. 151. В приемнике можно установить оптический индикатор на лампе 6Е5С и 6Е1П, облегчающий точную настройку на станцию.

В индикаторе имеется экран, на который подается полное анодное напряжение. Под действием этого напряжения на экран попадают вылетевшие из катода электроны, которые и заставляют экран светиться (экран покрыт специальным светящимся составом).

Не светится лишь один участок экрана — треугольный теневой сектор. Не светится этот участок потому, что против него находится управляющий электрод, или, как его еще называют, «нож», который отталкивает электроны, летящие к экрану.

«Нож» соединен с анодом вспомогательного триода, а в анод, ную цепь этого триода включено довольно большое сопротивление нагрузки Rн-и (R26). Анодный ток триода создает на сопротивлении Rн-и падение напряжения, и поэтому напряжение на аноде, а значит, и на «ноже» будет меньше, чем на экране. Это, в свою очередь, означает, что на «ноже» будет «минус» относительно экрана (если на экране действует напряжение, +200 в относительно катода, а на аноде и «ноже» +150 в, то это значит, что на «ноже» действует — 50 в относительно экрана). Вот из-за этого «минуса», управляющий электрод — «нож» — и отталкивает электроны.

Теперь попробуем подключить управляющую сетку вспомогательного триода к нагрузке детектора (чертеж 25,б) и настроиться на какую-нибудь станцию. Чем точнее настройка, тем сильнее будет высокочастотный сигнал, который подводится к детектору. При увеличении уровня сигнала будет возрастать и постоянное напряжение на нагрузке детектора, а поскольку это напряжение подается «минусом» на сетку вспомогательного триода, то одновременно будет уменьшаться его анодный ток. Это, в свою очередь, приведет к тому, что

будет уменьшаться падение напряжения на сопротивлении нагрузки триода Rн-и (R26), а следовательно, все меньше будет становиться «минус» на «ноже». В результате «нож» все слабее будет отталкивать электроны, что, конечно, приведет к сужению теневого сектора.

Отсюда и следует, что чем уже теневой сектор, тем точнее мы настроились на станцию.

Оптический индикатор оказывается очень полезным при настройке контуров приемника. Дело в том, что на слух не всегда удается определить, возрастает или уменьшается сигнал при изменении той или иной индуктивности или емкости, а оптический индикатор весьма точно показывает даже небольшое изменение сигнала. Включенные в сеточную цепь индикатора сопротивление Rф-и (R27), и конденсатор Cф-и (C39), — это не что иное, как обычный развязывающий фильтр, предохраняющий сеточную цепь индикатора от попадания переменных составляющих продетектированного сигнала.

Оптический индикатор настройки можно установить в любом сетевом супергетеродине. Приемник прямого усиления обладает сравнительно невысокой чувствительностью, и большинство станций не создает на нагрузке детектора постоянного напряжения, достаточного для того, чтобы «запереть» триодную часть индикатора.

И, наконец, еще одно, пожалуй, самое простое и в то же время самое эффективное усовершенствование нашего приемника — превращение его в радиолу. Совершенно ясно, что для этого нужен специальный электродвигатель и звукосниматель или, еще лучше, электропроигрыватель. Электродвигатель включается в сеть, причем в разрыв одного из проводов следует ввести выключатель. Звукосниматель можно подключить так, как это показано на чертеже 12. Следует, однако, иметь в виду, что на этом чертеже приведена самая простая схема включения звукоснимателя, имеющая серьезный недостаток: при воспроизведении грамзаписей высокочастотная часть приемника продолжает работать и даже если уйти на свободный участок какого-либо диапазона, где нет ни одной станции, то все равно качество звучания будет заметно ухудшено различного рода помехами и особенно так называемыми «суперными шумами». Для того чтобы этого не было, необходимо при воспроизведении грамзаписей выключать высокочастотную часть приемника. В промышленных и многих любительских приемниках это делается с помощью переключателя диапазонов, в котором имеется специальное положение (или отдельная клавиша) для включения звукоснимателя. В этом положении вход усилителя НЧ отключается от нагрузки детектора и подключается к звукоснимателю. В нашем переключателе имеется всего лишь три положения (ДВ, СВ и КВ), и поэтому его нельзя использовать еще и для включения звукоснимателя. Поэтому нам придется установить непосредственно на шасси (удобнее всего рядом с гнездами «Зв») перекидной выключатель — тумблер (лист 95), с помощью которого можно было бы подключать верхний (по схеме) вывод сопротивления R12, либо к детектору, то есть к сопротивлению R11 (радиоприем), либо к верхнему по схеме гнезду звукоснимателя (воспроизведение грамзаписей). Нижнее по схеме гнездо звукоснимателя всегда остается заземленным.

Нужно помнить, что из-за дополнительных наводок на корпус и детали переключателя может появиться заметный фон переменного тока. Для ослабления его приходится не только тщательнейшим образом экранировать провода, идущие от выключателя к детектору и звукоснимателю, но иногда экранировать и корпус тумблера. Можно, правда, поступить иначе: включать звукосниматель с помощью обычной вилки, а тумблером лишь отключать высокочастотную часть приемника, разрывая, например, цепь питания анодов ламп Л1 и Л2. Не забудьте, что вилку нужно вставить в гнездо «Зв» так, чтобы экран провода, идущего от звукоснимателя, обязательно соединялся с заземленным гнездом; сделав наоборот, то есть подключив экранирующий чулок к верхнему (по схеме) гнезду «З», вы, кроме фона, вообще ничего не услышите. Электропроигрыватель можно установить в верхней части ящика так же, как это делается почти во всех промышленных радиолах.

На этом, пожалуй, можно закончить перечень простейших изменений и усовершенствований нашего супергетеродина. Это, конечно, не значит, что мы уже сделали все возможное, чтобы получить современный высококачественный приемник. Просто дальнейшее совершенствование приемника, например установка резонансного усилителя ВЧ, введение УКВ диапазона, увеличение мощности усилителя НЧ, потребует таких серьезных изменений в схеме и конструкции, что проще и правильнее, строить новый приемник более высокого класса.

Несколько слов о классификации радиоприемников, в настоящее время все выпускаемые промышленностью сетевые радиоприемники условно разделяют на пять основных классов: высший, первый, второй, третий и четвертый.

Они отличаются друг от друга основными характеристиками (параметрами), к числу которых относят:

Диапазон принимаемых волн (частот). Приемники высшего, первого и второго классов работают на всех диапазонах, приемники третьего класса не имеют УКВ, а четвертого — также и КВ диапазона.

Номинальная выходная мощность. Для приемников высшего и первого классов обычно составляет 4–8 Вт, второго — 1,5–3 Вт, третьего и четвертого — 0,5–1 Вт.

Качество воспроизведения звука. Характеризуется коэффициентом нелинейных искажений при номинальной мощности (0,5–2 % высший класс, 5–12 % четвертый класс) и полосой воспроизводимых частот (50–12 000 Гц высший класс, 200–4000 Гц четвертый класс).

Чувствительность — минимальное напряжение, при котором приемник развивает на выходе 10 % своей номинальной мощности. Чувствительность различна на разных диапазонах.

Так, например, в приемниках высшего и первого классов она не хуже 4–15 мкВ на УКВ диапазоне и 15–50 мкВ на остальных.

Второй класс, естественно, имеет худшую чувствительность — 5–15 и 30–100 мкВ (чем больше число микровольт, тем больше напряжение нужно подать на вход для нормальной работы приемника, тем хуже его чувствительность).

Приемники третьего и четвертого классов имеют чувствительность 50–250 мкВ.

Избирательность по соседнему каналу. На диапазонах ДВ, СВ и КВ для приемников высшего класса может быть не хуже 70–76 дБ (сигналы соседней станции ослабляются в 3–6 тысяч раз), для первого класса 40–60 дБ (100–1000 раз), второго 35–50 дБ (50–300 раз), третьего и четвертого 26–30 дБ (20–30 раз).

Избирательность по зеркальному каналу. Для приемника высшего класса не хуже 60 дБ на ДВ. 50 дБ на СВ и 25 дБ на КВ диапазоне. Для приемников второго и третьего классов эти данные заметно хуже: 36, 30 и 12 дБ соответственно.

Чувствительность с гнезд звукоснимателя. Для большей части приемников составляет 0,1–0,25 В (100–250 мВ).

Мощность, потребляемая от сети. В зависимости от числа ламп и режима их работы может лежать в пределах 40–150 Вт.

Совершенно ясно, что различие в параметрах в основном определяется сложностью схемы и в первую очередь числом ламп и колебательных контуров.

Радиолюбители, оценивая свои конструкции, часто сравнивают их по нескольким самым

основным параметрам (лист 175). Поступая аналогичным образом, мы можем сказать, что наш приемник соответствует третьему классу. При тщательной наладке можно получить ряд параметров (чувствительность, избирательность, качество воспроизведения), приближающихся ко второму классу.

Постройка многолампового приемника, изучение его схемы и отдельных узлов, знакомство с важнейшими законами электротехники и радиотехники, а также приобретенные практические навыки по монтажу и налаживанию электронных устройств — все это открывает перед вами большие возможности для дальнейшей работы в области радиоэлектроники. Круг вопросов, которыми вы могли бы теперь заняться, очень широк. Мы уже говорили, что желающие и дальше заниматься радиоприемами могли бы приступить к постройке современного многолампового приемника высшего класса. Можно заняться и низкочастотным трактом — постройкой школьных радиоузлов, мощных усилителей НЧ, предназначенных для высококачественного воспроизведения звука. Очень близко к этому примыкает конструирование электронных музыкальных инструментов, простых (электрогитара) и сложных (электронный орган). Постройка ламповых приемников, несомненно, является хорошим фундаментом для работы над транзисторными конструкциями, так как и те и другие приемники работают на одних и тех же принципах и состоят из одних и тех же основных узлов. Однако у транзисторов имеется ряд очень важных особенностей, без знания которых нельзя будет сделать шаг от ламповой аппаратуры к транзисторной.

Для того чтобы завершить перечень «бытовой» аппаратуры, постройкой которой занимаются радиолюбители, следует упомянуть о магнитофонах и телевизорах. Конструированием этих аппаратов занимаются очень многие любители. Однако нужно прямо сказать, что самостоятельное изготовление магнитофона и особенно телевизора можно считать старшим курсом радиолюбительского университета. — работы эти требуют большого опыта и знаний.

Кроме того, для налаживания сложных электронных аппаратов нужны специальные измерительные приборы, которые не всегда можно достать. Очевидно, поэтому многие любители стремятся как можно лучше оснастить лабораторию своего радиоклуба или радиокружка и сами строят измерительные генераторы сигналов, вольтметры, позволяющие измерять самые различные напряжения, и в том числе высокочастотные; приборы для измерения индуктивности, емкости, сопротивления, частоты; осциллографы, на экране которых можно наблюдать графики переменных токов и напряжений, и ряд других приборов.

Все, о чем мы говорили до сих пор, — лишь небольшая часть возможных направлений вашей дальнейшей радиолюбительской деятельности. В этом можно легко убедиться, познакомившись с какой-нибудь радиолюбительской выставкой.

На выставках, наряду с уже знакомыми вам усилителями, телевизорами, измерительной аппаратурой, магнитофонами, радиоузлами, транзисторными и ламповыми приемниками, демонстрируются экспонаты совсем другого рода — электронные автоматы и другие приборы для различных областей промышленности и сельского хозяйства. Здесь можно увидеть простейшую вычислительную машину; прибор для измерения биотоков (электрических токов, возникающих в живом организме) сердца или мозга; установку, ускоряющую рост рассады; устройства «малой автоматизации» — реле времени, счетчики изделий, модели торговых автоматов, влагомеры для измерения влажности зерна и древесины и много других электронных приборов самого различного назначения. Некоторые из них прямо с радиолюбительской выставки переходят в цех завода или лаборатории ученых. Возможность заниматься настоящей электроникой и вносить свою лепту в дело технического прогресса — это, конечно, главная причина того, что разработкой электронных приборов для народного хозяйства с каждым годом занимается все больше и больше радиолюбителей. Кроме того, конструируя «умные машины» — электронные автоматы, — радиолюбители непосредственно знакомятся с той техникой, которую в дальнейшем встретят на заводах и в научно-исследовательских институтах.



Довольно близко к электронной автоматике примыкает телемеханика — управление на расстоянии. Постройка управляемых по радио действующих моделей кораблей, автомобилей и самолетов — это увлекательнейшее занятие, первый шаг к телеуправлению ракет, спутников и космических кораблей.

После того как радиолюбителями было открыто дальнейшее распространение коротких радиоволн, этот диапазон стал самым населенным. Здесь работают многие тысячи радиостанций, установленных на кораблях и в самолетах, искусственных спутниках и дрейфующих полярных станциях, в тракторных бригадах и геологических экспедициях. Но, несмотря на страшную «тесноту» на КВ диапазоне, шесть его участков: 10, 14, 20, 40, 80 и 160 м — навсегда закреплены за радиолюбителями как знак благодарности за их замечательное открытие.

Радиолюбители-коротковолновики сами строят небольшие радиостанции — приемники и передатчики — и с их помощью поддерживают связь друг с другом, проводят различные соревнования.

В последние годы наряду с короткими волнами радиолюбители все активнее начинают работать на УКВ. В этом диапазоне также имеется несколько любительских участков, на которых работает большое число радиостанций, в том числе и несколько сот школьных. На некоторых участках УКВ диапазона, так же как и на КВ, можно устанавливать дальние связи. На УКВ диапазоне проводятся такие интересные радиолюбительские соревнования, как «Полевой день» и «Охота на «лис». Участие в этих соревнованиях, также как и работа на КВ и УКВ радиостанциях, — это один из увлекательнейших видов спорта. Здесь радиолюбителям, как и в легкой атлетике или футболе, присваивают спортивные разряды и звания мастеров спорта.

Мы упомянули лишь об основных направлениях, в которых работает великая армия радиолюбителей. Но даже из этого короткого рассказа видно, что вы начали шагать по большому и интересному пути в радиоэлектронику, в одну из самых увлекательных и в то же время самых важных областей науки и техники.

Характеристики электронных ламп (справочные листы 184-219)

Чертежи (схемы и узлы радиоприемника)

\* \* \*

Примечания

1

В книге используются три вида иллюстраций: рисунки, чертежи и справочные листы. Каждой вид иллюстраций имеет свою нумерацию.

2

К числу проводников относятся также растворы многих солей и кислот, а также газы, находящиеся в определенном состоянии, например светящиеся газы в лампах дневного света или трубках световых реклам.

3

Здесь слово «сила» имеет тот же смысл, что и в выражении «сильный дождь», то есть дождь, при котором на землю падает много воды.

4

Выходными зажимами источника тока называют зажимы, гнезда, металлические лепестки или, наконец, просто провода, к которым подключается внешняя цепь.

5

При большой протяженности соединительной линии сопротивлением проводов уже пренебрегать нельзя и всю цепь тогда следует рассматривать как делитель напряжения, состоящий из трех участков — двух проводов и лампочки. Лампочка для карманного фонаря, рассчитанная на 3,5 в, светится даже в том случае, если к ней подвести напряжение около 2 в. Предположим, что сопротивление такой лампочки 100 ом, и для того, чтобы эта лампочка светила при напряжении батареи 4,5 в, сопротивление обоих проводов должно быть не более 100–125 ом. В этом случае падение напряжения на обоих проводах составит около 2 в (по одному вольту на каждом проводе), и на лампочке будет действовать примерно такое же напряжение. При большем сопротивлении проводов напряжение на лампочке будет слишком мало, и она светиться не будет.

6

Как уже отмечалось ранее, амплитуда — это наибольшее (максимальное) значение какой-либо переменной величины. Рассматривая колебания маятника, мы отмечаем амплитуду скорости (когда грузик проходит точку б), амплитуду отклонения (например, расстояние между точками а и б или б и в), амплитуды потенциальной и кинетической энергии. Каждая из этих величин в течение одного периода дважды достигает амплитудного значений.

7

В данном случае  $C_A$  — это емкость конденсатора, у которого роль одной из обкладок выполняет сама антенна, а роль другой обкладки — земля. У небольших комнатных антенн  $C_A$  равна 30–80 пф, у наружных антенн — 300–400 пф. При расчете и настройке приемника принято считать, что  $C_A = 200$  пф.

8

Вычисление общей емкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов производится по формулам, очень напоминающим формулы для расчета общего сопротивления. Правда, при последовательном соединении  $C$  формула похожа на формулу для параллельного соединения  $R$ , а последовательное соединение  $R$  аналогично параллельному соединению конденсаторов (листы 28, 29, 30).

9

Чтобы повысить напряжение сигнала, подводимое к контуру, антенну можно временно подключить к статору конденсатора  $C_5$ , либо непосредственно, либо через конденсатор емкостью 50—100 пф.

10

Когда говорят о напряжении на каком-либо электроде лампы, например на сетке или аноде, то имеют в виду, что это напряжение измерено относительно катода. Иногда для краткости говорят «минус на сетке» или «плюс на аноде», имея в виду положительное или отрицательное напряжение на соответствующих электродах относительно катода.

11

Греческая буква  $\delta$  (дельта) говорит о том, что рассматривается изменение какой-либо величины, например прирост тока  $\delta I$  или напряжения  $\delta U$  (лист 112).

На схемах лампы сокращенно обозначают буквой «Л», транзисторы — «Т», полупроводниковые диоды — «Д». На всех наших схемах нумерация ламп и других основных деталей производится в соответствии с полной принципиальной схемой приемника (чертежи 9, 12 и 16).

Оптимальное сопротивление анодной нагрузки обозначают по-разному. В таблицах параметров ламп чаще всего встречаются обозначения  $R_a$  и  $R_{opt}$ . Наряду с величиной выходной мощности  $P_{вых}$ , которую может развить та или иная лампа, в таблицах параметров часто указывают допустимую величину мощности, рассеиваемой на аноде  $P_a$ . Эту величину приходится учитывать при различных расчетах и, в частности, при проверке теплового режима лампы.