Шелестов И. П.
Семенов Б. Ю.

ПУТЕВОДИТЕЛЬ В МИР ЭЛЕКТРОНИКИ

Книга 2

Б. Ю. Семенов
И. П. Шелестов

Путеводитель в мир электроники

Книга 2

Москва
СОЛОН-Пресс
2004

УДК621.38
ББК32.85
С30

С30 **Семенов Б. Ю., Шелестов И. П.**
Путеводитель в мир электроники. Книга 2. — М.: СОЛОН-Пресс. — 2004, 352 с.

ISBN 5-98003-115-4

Вторая книга продолжает рассказ о радиотехнике и радиоэлектронике. Читатели, познакомившиеся с первой книгой, без труда смогут повторить описанные здесь конструкции и узнать много нового.

Приведено описание полезных в быту конструкций и устройств, которые можно легко изготовить самостоятельно в домашних условиях. Также описываются приставки и полезные программы для персонального компьютера, позволяющие превратить его в измерительный комплекс. Все это поможет приобрести практический опыт и знания, которые необходимы современному человеку.

Прилагаемый компакт-диск содержит справочную информацию по электронным компонентам и ресурсам Интернет, полезные программы, виртуальный музей истории развития электронной техники и многое другое.

Книга будет полезна как начинающим, так и опытным радиолюбителям.

ISBN 5-98003-115-4

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2004
© Семенов Б. Ю., Шелестов И. П., 2004

Предисловие к книге 2

Наверное, у многих известных ныне ученых, инженеров, радиолюбителей увлечение радиотехникой начиналось с чтения хороших научно-фантастических романов. Ведь прекрасная фантастическая литература увлекает не только оригинальным сюжетом, но и великим разнообразием различных технических идей. Это — мир мечты, в котором хочется побывать. Приблизить мечту к реальной жизни — наша с вами задача. И решить ее поможет электронная техника.

В этой книге вы узнаете, как самостоятельно можно сделать разные виды радиоприемников и передатчиков, зарядные устройства, светомузыку, электронные таймеры и множество других полезных конструкций. Все они собраны в основном на легкодоступной и известной отечественной элементной базе. Но полностью отказываться от применения самых современных компонентов, в том числе и импортных, авторы посчитали нецелесообразным: ведь они позволяют сделать многие устройства проще и надежней. А так как радиолюбитель, как правило, не имеет дома большого перечня измерительных приборов, это заставляет упрощать методику настройки устройств за счет применения соответствующих элементов.

Отдельный раздел книги знакомит с основами цифровой техники. Эти знания помогут вам понять, как работает большинство логических элементов и узлов, что позволит в дальнейшем самостоятельно собирать простые конструкции на их основе. Надеемся, что после прочтения главы о цифровой технике для вас перестанут быть загадкой, например микрокалькулятор, таймер стиральной машины и электронные часы.

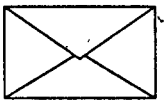
Для удобства изготовления практических схем в конце книги приведена вся необходимая справочная информация, в том числе расположение выводов у использованных транзисторов.

Сегодня многие имеют дома собственный персональный компьютер. Поэтому данная тема, вне всякого сомнения, читателя заинтересует. Здесь вы познакомитесь с возможностями, которые предоставляет радиолюбителю и радиоинженеру современный персональный компьютер. Один из разделов книги полностью посвящен вспомогательным программам, которые станут незаменимы в практических делах — от справочных и выполняющих радиотехнические расчеты до таких, которые превращают компьютер в настоящий измерительный комплекс с широкими возможностями.

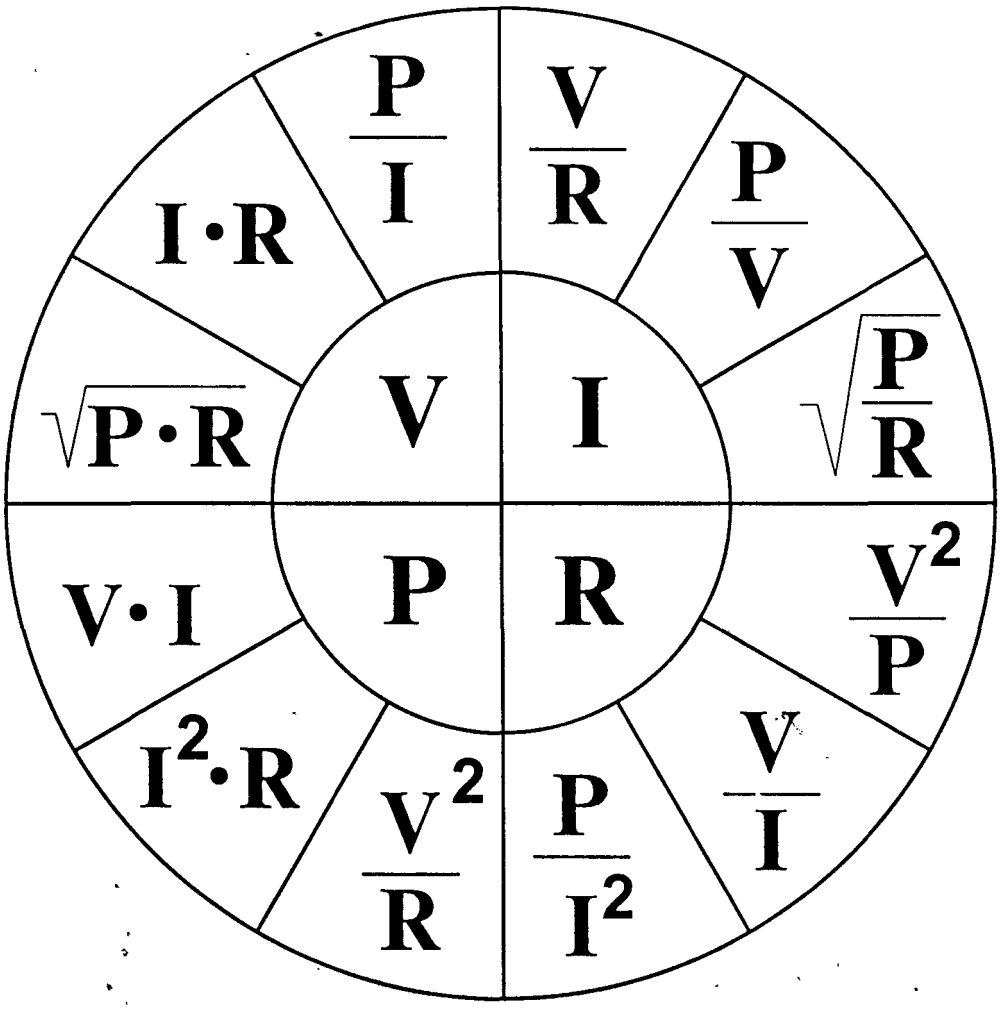
На лазерном диске, прилагаемом к книге в качестве подарка, вы найдете большинство из описанных программ (не придется «мучить» модем) или же будет указан адрес в Интернете, откуда эти программы можно переписать. Все программы распространяются свободно. Кроме того, на диске содержится мно-

го справочной информации в «электронном» виде, в том числе и той, которая не поместилась на страницах книги, но без нее читателю будет сложнее разбираться в работе электронных устройств.

Мы старались создать современную и полезную книгу, которая сможет в увлекательной форме научить основам радиоэлектроники настоящего и будущего. Насколько это удалось, судить вам, уважаемые читатели. Свои замечания, предложения и вопросы авторам можно переслать через издательство по адресам:



для обычных писем *123242, Москва, а/я 20*
или по электронной почте *Solon.avtor@coba.ru*



Глава 10

Радиотехника и мир радиоволн

Значение радиотехники в современном мире огромно, но в повседневной жизни мы вряд ли особенно ощущаем ее важность, вряд ли задумываемся над этим. Зачем нужна радиотехника — тоже вопрос из редких. Мы просто пользуемся ее достижениями, они постоянно с нами: мы смотрим телевизор, слушаем радио, разговариваем по мобильным телефонам и радиоканалам карманных радиостанций. Достижения радиотехники широко используются не только в быту.

Радиосвязь во много раз ускорила нашу жизнь. Исполнилась давняя мечта людей об оперативной и быстрой передаче информации, невзирая на расстояния, преграды, снег, дождь, ветер. А осуществилось это всего за каких-нибудь 100 лет! Давайте же «отмотаем» эти сто лет назад, как пленку магнитофонной кассеты, и, прежде чем практически начать освоение мира радиотехники, быстренько пройдем путь ее развития, упомянем имена великих изобретателей, исследователей, первооткрывателей. Конечно, в практической части мы сможем охватить далеко не все достижения радиотехники, но даже то немногое покажется удивительным и захватывающим.

Ну что ж, совершим экскурсию в историю. ■

Как был сделан первый радиопередатчик и радиоприемник

Творчество — это движущая сила,
которая поддерживает в нас жизнь.

Марк Вэнс

Слово «радио» (латинское radius — луч) появилось в словарном обиходе людей не так давно. Более того, можно назвать и точную дату и человека, который ввел термин «радио» в обиход. **Вильям Крукс** (1832—1919), английский физик и химик, член Лондонского королевского общества, создал прибор для изучения «сил отталкивания, возникающих в нагретых телах», и назвал этот прибор **радиометром**. Радиометр представлял собой грушевидный сосуд, в котором размещалась вертушка с четырьмя лопастями из слюды. Вертушка была насажена на острие иглы, а значит крутилась свободно. Когда на лопасти падал свет или катодные лучи, вертушка начинала вращаться. Крукс, однако, тогда

ошибочно считал, что вращение происходит не под действием электромагнитных волн, а от неких «тепловых» сил. Но Крукс все же разобрался в природе электромагнитных волн и позже одним из первых предложил использовать их для передачи информации. В 1892 г. он отметил: «Лучи света не могут проникать ни через стену, ни, как мы слишком хорошо знаем, через лондонский туман. Но электрические лучи легко проникают через такие среды, являющиеся для них прозрачными. В таком случае здесь раскрывается ошеломляющая возможность телеграфирования без проводов».

Хотя радиометр Крукса в современном понимании мало походил на радиоприемные средства, он в буквальном смысле фиксировал наличие электромагнитных волн или их отсутствие. Через 16 лет профессор физики Парижского католического университета **Эдуард Юджин Десаир Бранли** (1844—1940) показал, что термин «радио» логичнее применять не к любым невидимым глазу воздействиям, а только к электромагнитным волнам. Имя Бранли прочно вошло в историю радиотехники благодаря изобретению так называемого **датчика Бранли**. Собственно, ничего особенного в этом датчике нет, его может изготовить из подручных средств любой — нужна только стеклянная трубка, заполненная металлическими опилками, и выведенные наружу электроды с торцов. При подключении к электродам батареи датчик Бранли работает как изолятор, но если на некотором расстоянии от датчика возникает электрическая искра достаточной мощности, датчик начинает проводить электрический ток! Чтобы перевести датчик опять в непроводящее состояние, его нужно просто немного встряхнуть.

Реакцию датчика на искру Э. Бранли наблюдал в пределах своей лаборатории — где-то в радиусе 20 метров. Он мог бы продолжать эксперименты с датчиком, придумать первый радиопередатчик и радиоприемник, увековечить себя в истории как изобретатель радиосвязи, но... Но Бранли никогда не интересовался передачей сигналов на расстояния! Ученого интересовало электричество только применительно к медицине, для лечебных целей. А датчик появился случайно, при попытке смоделировать проводимость нерва.

Открытое явление было описано Бранли в 1890 г. в статье «О проводимости несплошных проводящих веществ». Название статьи покажется скучным, но в публикации автор отметил принципиальные для нашего рассказа моменты, дословно звучащие так: «На сопротивление металлических порошков влияют электрические разряды, производимые на некотором расстоянии от них. Под действием разрядов опилки резко изменяют свое сопротивление и проводят ток». Бранли назвал свой датчик **радиокондуктором**.

Усовершенствовал радиокондуктор другой физик — англичанин сэр **Оливер Джозеф Лодж** (1851—1940). В 1894 г. Лодж добавил к радиокондуктору специальный прерыватель (trembler), который встряхивал опилки после прохождения искрового разряда. Лодж назвал свой вариант датчика словом **когерер** (рис. 10.1). Результаты проведенных опытов Лодж опубликовал в английском журнале «The electrican». Кстати, прочитав статью Лоджа, Э. Бранли написал ответную статью, в которой достаточно тактично поправил Лоджа: «Мою трубочку с опилками О. Лодж назвал «кохерер» и некоторые воспринимают это как общепринятое. Это название, однако, неточно отражает исследованное яв-

ление. Я предложил название «радиокондуктор» — «радио» и «проводник», — которое отражает главное свойство несплошного проводника при воздействии электромагнитного излучения». Но как бы то ни было, а «когерер» прочно утвердился в радиотехнических изделиях вплоть до начала 20-х гг. XX в., когда ему на смену пришли кристаллические детекторы электромагнитных волн и детекторы на электронных лампах.

Лодж, в отличие от Бранли, интересовался вопросами радиосвязи, и в данной области сделал немало изобретений. Однако он также не может считаться изобретателем радио. Позже, когда О. Лоджа спрашивали, почему ему не пришла в голову такая простая и светлая мысль, сэр Оливер отвечал: «Я был слишком занят работой, чтобы браться за развитие телеграфа или любого другого направления техники. У меня не было достаточного понимания того, чтобы почувствовать, насколько это окажется важно для флота, торговли, гражданской и военной связи».

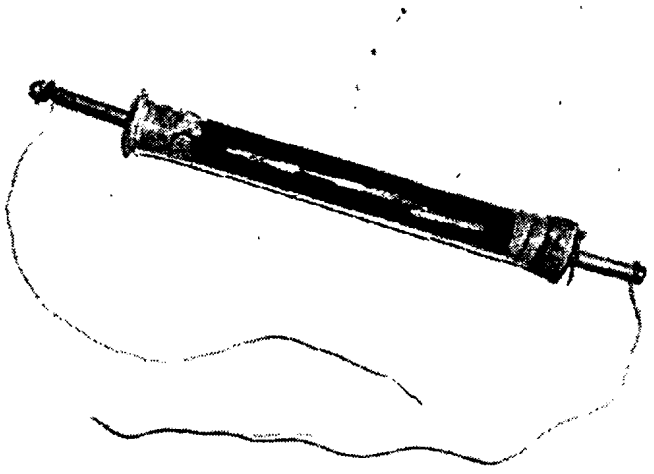


Рис. 10.1. Когерер, изобретенный Э. Бранли и усовершенствованный О. Лоджем

Оставим ненадолго направление, связанное с конструированием **детекторов электромагнитных колебаний.** Разберемся, как были открыты электромагнитные волны — главный беспроводной переносчик информации. Как осуществлялся их поиск и экспериментальное подтверждение. Удивительно, но впервые электромагнитные волны были описаны Максвеллом теоретически. Люди даже не знали тогда, существуют ли они реально. Электромагнитные волны не были найдены до самой смерти Максвелла. Экспериментально подтвердить существование волн предстояло другому ученому — **Генриху Герцу** (1857—1894). Но пока поговорим не об опытах Герца, а об... Т. Эдисоне, Э. Томсоне, Н. Тесла.

В 1875 г., проводя эксперименты с большим электромагнитом, Эдисон заметил крохотные искорки, которые проскакивают между некоторыми металлическими предметами, расположенными в лаборатории неподалеку от электромагнита. Эдисон также установил, что искорки не влияют на прибор регистрации электрического заряда — электроскоп. Изобретатель тут же опубликовал статью об открытой им «эфирной силе», отнеся источник возникновения искорок к некой неэлектрической силе.

Статья Эдисона попала в руки американскому изобретателю **Элиху Томсону**, который решил продолжить эксперименты. Коммутируя катушку индуктивности (тогда один из ее видов назывался **катушкой Румкорфа**) и создавая с ее помощью магнитное поле, Томсон также заметил, что в помещении между близкорасположенными металлическими предметами вспыхивают искры. Так было доказано, что «электричество» передается через пространство, а также было опровергнуто предположение о существовании «эфирной силы». Трудно сказать, почему Томсон не двинулся дальше и не совершил открытие электромагнитных волн.

Еще один человек, близко подошедший к открытию электромагнитных волн, — **Никола Тесла** (1856—1943), американский изобретатель, долгое время работавший на заводах Эдисона, а затем основавший собственную лабораторию в штате Колорадо. С 1892 г. Тесла интересовался способами передачи информации без проводов. Еще в 1893 г., выступая перед слушателями Франклиновского института в Филадельфии (США), Тесла сказал: «С каждым днем я все больше убеждаюсь в практической осуществимости идеи передачи осмысленных сигналов на любое расстояние вовсе даже без помощи проводов. И хотя я знаю, что большинство ученых не верят, что такие результаты могут быть действительно реализованы, я рассматриваю этот проект передачи энергии и сигналов без проводов уже не просто как теоретическую возможность, а как весьма серьезную проблему электротехники, которая должна быть решена со дня на день». Действительно, слова Тесла оказались пророческими — эта проблема была решена через два года, но уже не головой и руками Тесла. Хотя вклад Тесла в радиотехнику тоже значителен. Изобретенный им **воздушный повышающий трансформатор** использовался в первых серийных радиопередатчиках в качестве источника излучения. Тесла вошел в историю электротехники изобретением асинхронного двигателя, электромеханического генератора тока высокой частоты, идей радиолокации и радиоуправления.

И вот теперь мы поговорим о Г. Герце. Что же сделал этот ученый, благодаря чему он остался в истории радиотехники первооткрывателем электромагнитных волн? Генрих Герц впервые назвал основные устройства для организации радиоканала — **вибратор** и **резонатор**. Вибратор должен генерировать электромагнитное поле, а резонатор — его принимать. А предыстория открытия Герца такова.

В 1879 г. Берлинская академия наук объявила конкурс на разработку темы «Экспериментальное подтверждение связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией». За ее разработку и взялся Герц, тогда молодой ученый, имевший в своем активе самостоятельную научную работу. Поначалу он колебался, стоит ли тратить время на столь непонятные исследования, но под влиянием своего руководителя, считавшегося первым физиком Европы, — Германа Гельмгольца — начал эксперименты и с успехом справился с поставленной задачей. Путь к главному открытию жизни был открыт!

В 1885 г. Генрих Герц стал профессором экспериментальной физики Высшей технической школы, через год, в 1886-м, появляются его изобретения: **вибратор Герца** (передатчик электромагнитных волн) и **резонатор Герца** (приемник электромагнитных волн). Как выглядят эти замечательные устройства? Вибратор Герца представляет собой два медных проводника длиной 2,6 м и толщиной 5 мм, расположенные на одной линии. На внешних концах проводников закреплены два больших жестяных шара, на внутренних — два небольших шарика, между которыми оставлен воздушный зазор. Щель между шариками называется **искровым промежутком**. К обоим проводникам подключается источник высокого напряжения — катушка индуктивности (катушка Румкорфа). Когда разность потенциалов между шариками в результате действия самоиндукции в катушке достигает напряжения пробоя, возникает электромагнитная искра. Проводники возбуждают электромагнитную волну, которая распространяется в пространстве. Основные параметры электромагнитной волны, такие, как ее длина или частота, могут быть отрегулированы величиной продо-

льных проводников — их удлинением или укорочением. Этот принципиально важный факт также был открыт Герцем.

Мало получить электромагнитную волну — нужно ее еще и принять, преобразовать в вид, удобный для восприятия органами чувств человека. И такой приемник Герц создал! Резонатор Герца отличается предельной простотой: это металлическое круглое кольцо с разрезом и закрепленными на концах шариками, как показано на рис. 10.2. Настроив резонатор на вибратор с помощью подбора диаметра кольца, можно разглядеть появление между шариками резонатора небольшой искорки в момент срабатывания вибратора. Искорка появляется на расстоянии между шариками не более 3 мм, да и разглядеть ее возможно только в увеличительное стекло. Опыт Герца представлен на рис. 10.3.

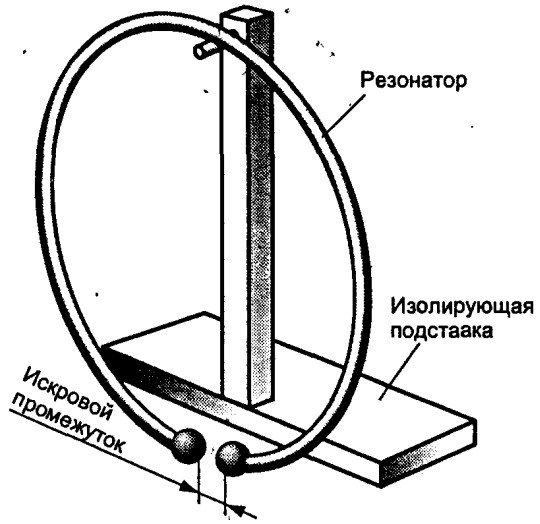


Рис. 10.2. Внешний вид резонатора Герца

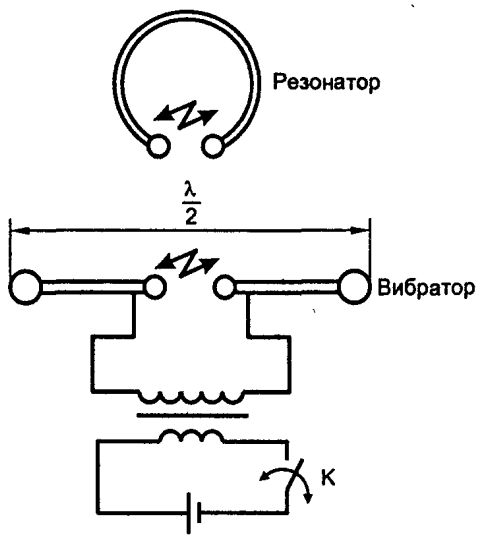


Рис. 10.3. Опыт Г. Герца

По нашим меркам, исследования Герца не кажутся впечатляющими, но, когда он в декабре 1888 г. сделал доклад о результатах на заседании Берлинской академии наук, это произвело настоящую сенсацию. Еще бы — получено экспериментальное подтверждение теории электромагнитных волн Максвелла! Сразу после этого Генриха Герца избрали почетным членом семи ведущих академий Европы. Выступая на съезде немецких естествоиспытателей, Герц сказал: «Все эти опыты просты в принципе, тем не менее они влекут за собой важнейшие следствия. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно».

Кратко итоги исследований ученого выглядят так:

- электромагнитные волны не являются теоретической ошибкой, а действительно существуют;
- скорость распространения электромагнитных волн в пространстве равна скорости света;
- для излучения и приема электромагнитных волн необходимо новое электротехническое устройство — **антенна**;
- для максимально эффективного приема электромагнитных волн необходимо настраивать антенну передатчика и антенну приемника — **согласовывать** их;

- длина излучаемой волны, а также эффективность излучения зависят от конструкции передающей антенны.

Генрих Герц умер в самом расцвете творческих сил — в начале 1894 г., за год до изобретения радио. Он, как никто другой, мог сделать себе имя и изобретением радиосвязи, так как продвинулся в своих опытах намного дальше Эдисона, Томсона, Тесла, Бранли, Крукса, Лоджа и других, чьи имена мы здесь не назвали. Но поразительная проницательность в одном вопросе обернулась столь же великой недальновидностью в другом! В 1889 г., на запрос мюнхенского инженера **Г. Губера** о возможности использования открытия для практических целей, передачи информации на расстояние — Герц ответил: «Электрические колебания в трансформаторах и телефонах слишком медленные. Если бы Вы могли построить излучатели размахом с материк, то Вы могли бы поставить намеченные опыты, но практически сделать ничего нельзя: с обычными излучателями Вы не обнаружите ни малейшего действия».

Ответ ученого требует пояснения. Дело в том, что приборы Герца излучают волны частотой в десятки мегагерц (забавно, но этот параметр переменных электрических сигналов назван именем ученого). Звуковые же колебания находятся в области сотен тысяч герц — на порядки меньше. Излучать электромагнитные волны звукового диапазона могут только очень большие вибраторы. **Модуляция** как способ передачи низкочастотных сигналов при помощи высокочастотных еще не была изобретена, не было также **автогенераторных схем** создания электромагнитных колебаний. Отсюда и проистекает пессимизм великого ученого.

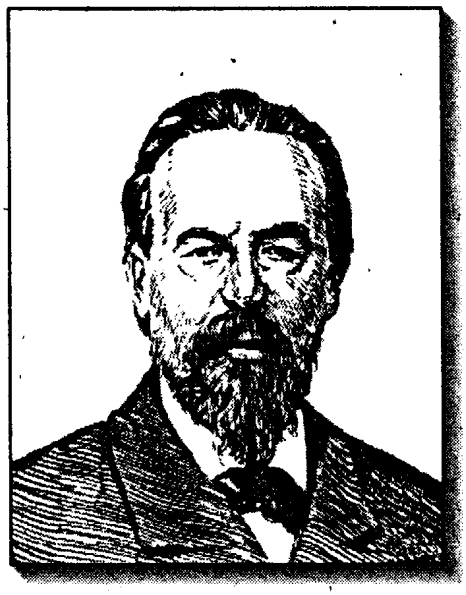
Теперь, уважаемые читатели, мы подошли к знаменательной дате, отмечаемой в нашей стране как памятный праздник, — к 7 мая 1895 г. Эта дата — день рождения радио! В тот день воедино сошлись изобретения ученых, о которых мы только что рассказали. Соединить вроде бы несоединимые вещи, в результате чего появилось совершенно новое техническое направление передачи **осмысленной информации без помощи проводов**, удалось нашему соотечественнику профессору **Александру Степановичу Попову** (1859—1906). Сын православного священника, настоятеля небольшой церкви в поселке Турьинские Рудники Пермской губернии, он в 1877 г. приехал в столицу и поступил на математическое отделение Петербургского университета — лучшего учебного заведения России. Еще в студенческие годы Попов подрабатывал в товариществе «Электротехник». Он также принимал активное участие в первой российской электротехнической выставке, прошедшей в Петербурге в 1880 г. Практический опыт, приобретенный в студенческие годы, оказался бесценным — к моменту получения диплома Попов считался инженером-электротехником с солидным стажем.

Итак, в 1882 г., после окончания университета, Попову предлагают остаться «для приготовления к профессорскому званию». Но крайне малое жалование заставляет его отказаться от предложения и поступить на службу в Морское ведомство, в Минный офицерский класс в Кронштадте. Александр Степанович согласился работать преподавателем физики.

Минный офицерский класс — одно из лучших электротехнических учебных заведений того времени. В нем не только готовили высококлассных специалистов для военно-морского флота, но и занимались научной работой. По воспо-

минаниям современников, Александр Степанович умел простыми словами рассказывать о сложном, но и демонстрировал множество опытов. Приборы, с помощью которых производились демонстрации, зачастую были изготовлены им собственноручно.

В 1900 г. Александр Степанович был назначен профессором кафедры физики Петербургского электротехнического института. Незадолго до смерти ученого, когда в России стало возможным не назначать, а выбирать ректоров учебных заведений, его в 1905 г. единодушно избрали ректором электротехнического университета Санкт-Петербурга. К слову, мемориальный рабочий кабинет Александра Степановина сохраняется в этом учебном заведении до сей поры.



А. С. Попов

Таков был Попов-человек. Каким же предстает Попов-ученый, Попов-изобретатель? В то время военно-морской флот остро нуждался в беспроводном средстве связи. Поскольку Александр Степанович связал свою жизнь с военно-морской техникой, он занимался проблемой связи применительно к флоту, интересовался мировым опытом, что-то сам мастерил в маленьком домике, расположенном во дворе Минного класса. И вот 7 мая 1895 г. на очередном заседании Физико-химического общества Попов делает доклад «Об отношении металлических колебаний к электрическим колебаниям», а затем демонстрирует работу первого в мире радиоприемника! В качестве источника электромагнитных волн А. С. Попов использует передатчик собственной конструкции — усовершенствованный вариант вибратора Герца. Когда ассистент ученого, **Петр Николаевич Рыбкин** (1864—1948), включал передатчик, в лаборатории раздавалась трель электрического звонка, находящегося в приемнике.

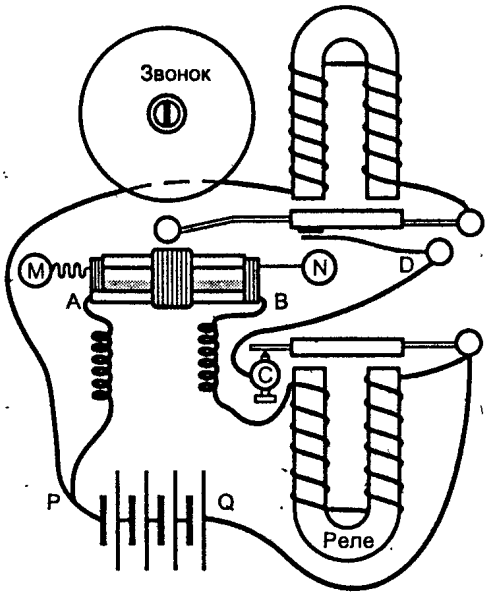


Рис. 10.4. Рисунок радиоприемника А. С. Попова

Что принципиально новое, доселе неизвестное можно встретить в конструкции радиоприемника Попова? Удивительно, но... ничего! Гениальность изобретения заключается в другом: Александр Степанович создал на основе существовавшей в то время, как бы мы сказали сейчас, «элементной базы», **принципиально новое техническое устройство**.

Сохранилось описание первого радиоприемника, составленное самим Поповым и опубликованное им в «Журнале русского физико-химического общества». Это описание интересно не столько тем, что сделано собственноручно Поповым, но главным образом позволяет прочувствовать стиль технического описания принципиальных электрических схем того времени (рис. 10.4).

«Трубка с опилками (когерер) подвешена горизонтально между зажимами M и N на легкой часовой пружине, которая для большей эластичности согнута со стороны одного из зажимов зигзагом. Над трубкой расположен звонок так, чтобы при своем действии он мог давать удары молоточком посредине трубки, защищенной от разбивания резиновым кольцом. Удобнее всего трубку и звонок укрепить на общей вертикальной дощечке. Реле может быть помещено как угодно.

Действует прибор следующим образом. Ток батареи напряжением 4—5 В постоянно циркулирует от зажима Р к платиновой пластинке А, далее через порошок, содержащийся в трубке, к другой пластинке В и по обмотке электромагнитного реле обратно к батарее. Сила этого тока недостаточна для притягивания якоря к реле, но если трубка АВ подвергнется действию электрического колебания, то сопротивление мгновенно уменьшится и ток увеличится настолько, что якорь реле притянется. В этот момент цепь, идущая от батареи к звонку, прерванная в очке С, замкнется и звонок начнет действовать, но тотчас же сотрясение трубки опять уменьшит ее проводимость и реле разомкнет цепь звонка.

В моем приборе сопротивление опилок после сильного встряхивания бывает 100000 Ом, а реле, имея сопротивление около 250 Ом, притягивает якорь при токах от 5 до 10 мА (пределы регулировки), т. е. когда сопротивление всей цепи падает ниже 1000 Ом. На одиночное колебание прибор отвечает коротким звонком; непрерывно действующие разряды отзываются довольно частыми, через приблизительно равные промежутки следующими звонками».

Как читатели успели понять из описания и рисунка, в составе радиоприемника использованы знакомые изобретения: когерер, электромагнит, гальваническая батарея. Для автоматического встряхивания когерера применяется обычный электрический звонок, а в качестве антенны выступает вертикальный отрезок провода длиной 2,5 м — так называемая **штыревая антенна**. С помощью более длинной антенны прибор регистрирует на расстоянии до 4 км приближающуюся грозу, становясь «грозоотметчиком». По поводу грозоотметчика Попова один французский историк техники писал: «Уже в 1895 г., когда еще никто не мог выступить с предложением беспроволочного телеграфа, был кто-то, кто телеграфировал при помощи электричества. Этим «кто-то» была молния, которая телеграфировала А. С. Попову в его лабораторию «я здесь» и давала ему точные указания своего пути».

Чем занимался Александр Степанович после демонстрации своего знаменитого изобретения? В марте 1896 г. он демонстрировал усовершенствованный вариант приемника, в котором принятые сигналы записывались на телеграфную ленту. Летом 1897 г. он провел первые практические опыты по радиосвязи вблизи Выборга при дальности 5 км. Он исследовал методы увеличения дальности приема радиосообщений, разрабатывал конструкцию аппаратуры связи для военных кораблей. В том же году он высказал мысль о возможности использования радио для судовождения: «Применение источника электромагнитных волн на маяках в добавление к световому и звуковому сигналам может сделать видимыми маяки в тумане и в бурную погоду». Александр Степанович первым заметил эффект отражения радиоволн от корпусов кораблей и пришел

к мысли о возможности **радиопеленгования** и **радиолокации**, то есть способов обнаружения объектов при помощи электромагнитной волны: «Все металлические предметы — мачты, трубы, снасти — должны мешать действию приборов как на станции отправления, так и на станции получения, потому что, попадая на пути электромагнитной волны, они нарушают ее правильность отчасти подобно тому, как действуют на обыкновенную волну, распространяющуюся по поверхности воды».

В 1898 г. Попов вместе с французским инженером Е. Дюкрете начал производство радиостанций для нужд флота. Изготовление аппаратуры налаживалось в Кронштадте, в мастерских Е. В. Колбасьева. Эта первая связная аппаратура закупалась и для кораблей французского флота. Наступила эра промышленного производства аппаратуры беспроводной связи!

В 1899 г. Александр Степанович запатентовал **детекторный приемник**, позволявший принимать «морзянку», прослушивая ее в телефонных наушниках. В следующем году радиостанции А. С. Попова были использованы для проведения спасательных работ. В Финском заливе, у острова Гогланд, сел на мель только что построенный броненосец «Генерал-адмирал Апраксин». Чтобы осуществлять оперативное руководство работами, А. С. Попов установил одну радиостанцию на аварийном корабле, а вторую — на расстоянии 40 км, в городе Котка. Несколько месяцев спасатели пользовались этой линией связи. В том же году, после получения по радио сигнала бедствия с оторвавшейся льдины с рыбаками, ледокол «Ермак» вышел в море и спас людей. Адмирал и ученый-кораблестроитель **Степан Осипович Макаров**, оказывавший А. С. Попову большую поддержку и помощь, так описал это событие: «Первая официальная депеша содержала приказание «Ермаку» идти на спасение рыбаков, унесенных в море на льдине, и несколько жизней было спасено благодаря «Ермаку» и беспроволочному телеграфу. Такой случай был большой наградой за труды, и впечатления этих дней, вероятно, никогда не забудутся». В 1901 г. Александр Степанович достиг уверенной связи на расстоянии 150 км.

В декабре 1912 г. иллюстрированный журнал «Огонек», отмечая открытие в России радиозавода морского ведомства, писал: «Радиотелеграфия зародилась у нас в России. Пионером этого дела явился известный русский профессор Попов, начавший строить радиотелеграфные аппараты в Кронштадте. Вслед за проф. Поповым делом радиотелеграфии занялся знаменитый итальянец Маркони, добившийся возможности передавать радиотелеграммы на довольно значительные расстояния. Благодаря содействию крупных английских капиталистов он и пожал те лавры, которые по справедливости должны бы быть отданы проф. Попову».

Вот еще одна интересная выдержка из работы историка техники И. В. Бренева, относящейся к 70-м гг. XX в.: «А. С. Попов умер в 1906 г., Маркони пережил его на 31 год. Попов ушел из жизни тогда, когда радиотехника только начинала свой путь. Маркони жил в эпоху совершенствования радиотехники, когда в ней на смену когереру пришла электронная лампа, появилось радиовещание, телевидение. Когда А. С. Попов уже не мог напомнить о себе, Маркони совершал многочисленные путешествия по разным странам мира, он более 80 раз пересек Атлантический океан, он был членом различных международ-

ных организаций. А. С. Попов не стал коммерсантом, он не создал своей фирмы, его родина, Россия, при царской власти была экономически слабой страной. За спиной же Маркони стояла богатейшая фирма с огромным штатом и мировой клиентурой».

Наконец, приведем и слова самого Александра Степановича: «Маркони первый имел смелость стать на практическую почву и достиг в своих опытах больших расстояний».

Кто такой этот загадочный Маркони и почему его имя на протяжении почти ста лет упоминается рядом с именем Александра Степановича Попова?

Гульельмо Маркони (1874—1937), итальянский инженер-электрик, изобретатель, удачливый коммерсант, державший руку на пульсе времени. Однажды он так сказал о принципах своих исследований: «Я нуждаюсь в любой помощи, которую могу получить. Я читаю все, абсолютно все, что могу найти по телеграфной связи. Я никого не пропускаю и ничего не игнорирую, никакую идею, какой бы абсурдной она ни была. Я пробую все, по крайней мере один раз».

Прочитав в 1894 г. об опытах Герца, юный 20-летний Маркони задумался об использовании электромагнитных волн для передачи сообщений. Он превратил в лабораторию старое зернохранилище на семейной вилле в Болонье и с утра до вечера просиживал за экспериментами. Первые радиосигналы — три точки символа «S», посылаемые кодом Морзе, принимались на расстоянии сотни метров. Но только по прошествии 13 месяцев после публикации Попова Г. Маркони подал заявку на изобретение «аппаратуры для системы связи без проводов с помощью электромагнитных волн». И только 2 июля 1897 г., то есть через два года после демонстрации опытов Попова, итальянский изобретатель получил патент на «усовершенствование в передаче электрических импульсов и сигналов в аппаратуре для этого». К сожалению, Александр Степанович не подал заявку на патент своего изобретения, и поэтому на Западе изобретателем радио считается Маркони. Некоторые историки техники считают, что Маркони усовершенствовал приемник Попова и запатентовал его, некоторые склоняются к мысли, что он пришел к аналогичной конструкции самостоятельно. Преподаватель солидного учебного заведения не мог знать об опытах итальянского юноши в фермерском сарае — это бесспорно. А вот цепкий юноша такой информацией обладать мог. Как бы то ни было, но исторический приоритет остается за Поповым!

Собственно, радиоприемник конструкции Г. Маркони мало чем отличается от приемника Попова: в приемнике Маркони количество гальванических батарей увеличено до двух — электрический звонок питала отдельная батарея, продлевая общий срок службы устройства. Более того, и приемник, и передатчик Маркони имели штыревую антенну. Единственное принципиальное отличие имел когерер, из которого был выкачан воздух. Такая конструкция позволяла повысить чувствительность когерера, а значит, и дальность приема.

Как утверждает русская пословица, «не было бы счастья, да несчастье помогло». Италия не заинтересовалась изобретением, и опыты Маркони так и могли бы остаться опытами. Изобретатель отправляется в Англию, где неожиданная болезнь одной царственной особы — принца Уэльского — заставила Маркони передавать пять раз в день о состоянии здоровья принца королеве

Г. Маркони

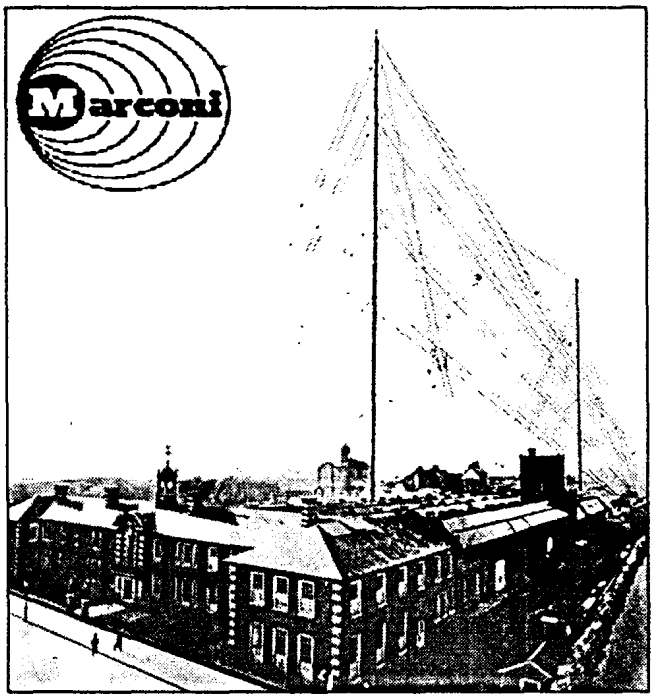


Рис. 10.5. Фирменный знак «Marconi Company» и его фабрика в Chelmsford (1920). Видны две 450-футовые (137 м) антенные мачты

Виктории. Кстати, при переезде Маркони из Италии в Англию произошел забавный случай. Английские таможенники, увидев аппаратуру радиосвязи, стали подозревать в ней хитроумную бомбу. Мать Гульельмо нашлась что ответить: «Да, это бомба. Но она разрушает не города, а стены».

Поддержка «сильных мира сего» позволила Г. Маркони в 1897 г. основать свою коммерческую фирму «Wireless Telegraph and Signal Company Ltd», переименованную затем в «Marconi Wireless Telegraph Company», рис. 10.5. Налаживается стремительное производство коммерческой аппаратуры связи для транспортных компаний, благосостояние фирмы растет как на дрожжах. Появились военные заказы из США, Англии, Франции, Германии, Италии. В 1899 г. Маркони присутствовал на испытаниях системы радиотелеграфной связи между крейсером «Нью-Йорк» и линкором «Массачусетс», находившимися друг от друга на расстоянии 65 км.

Теперь Маркони целиком поглощен новой идеей — максимально увеличить дальность радиосвязи. И ему это удается! Построив станции беспроводного телеграфа в противоположных точках земного шара — одну в Англии, на полуострове Корнуолл, а другую в Канаде, на острове Ньюфаундленд, он, находясь в Канаде, 16 декабря 1901 г. принял первый трансатлантический радиосигнал с расстояния почти в 2100 миль. Газетные заголовки того времени пестрели сообщениями об опровержении Маркони законов физики, а Т. Эдисон воскликнул: «Я поражен! Я хотел бы встретиться с этим молодым человеком, у которого хватило дерзости на пересечение Атлантики электрической волной».

Сохранилось свидетельство о единственной встрече, состоявшейся между Поповым и Маркони в 1902 г., когда в Россию с визитом на военном корабле прибыл итальянский король Виктор Эммануил. Короля сопровождал Маркони, испытывавший в этом плавании свою аппаратуру. Пока царственные особы проводили встречи на высшем уровне, крейсер был открыт для посещения, и

этой возможностью воспользовался Попов. Он беседовал со своим коллегой несколько часов.

Дальнейшая жизнь Маркони отмечена благополучием, коммерческим процветанием и поразительной работоспособностью до самой кончины. В 1907 г. он открывает первую трансатлантическую радиотелеграфную службу, в 1909 г. удостаивается Нобелевской премии. В 1921 г., переоборудовав в лабораторию личную яхту «Электра», Маркони приступил к исследованиям в области коротковолновой телеграфии, и к 1927 г. его компания развернула международную сеть коммерческих коротковолновых телеграфных станций. «Результаты опытов на яхте, — констатировал Маркони, — убедили меня, что с передатчиком мощностью в 1 кВт надежная коммерческая радиосвязь возможна на расстоянии по меньшей мере 2300 морских миль». В 30-х гг. XX в. Маркони занимается микроволнами, использует их в навигации. Он умер 20 июля 1937 г. В этот день по всему миру на две минуты замолчали все радиостанции.

Наш соотечественник, Александр Степанович Попов ушел из жизни совсем по-другому. Мы уже говорили, что незадолго до смерти Попов исполнял обязанности ректора Электротехнического института. Времена были сложные — 1905 г., революция, всеобщая неразбериха. Студенческая масса бурлит революционными идеями, администрация требует усиления репрессивных мер. Попов, совестливый, скромный и честный человек, настоящий патриот Отечества, переживает за своих талантливых юных воспитанников, которым грозит исключение, и за преподавателей, которым предназначены незаслуженные взыскания. Следуют постоянные вызовы ректора к министру народного просвещения, к градоначальнику, и выговоры, унижающие достоинство ученого. После одного из таких вызовов, состоявшегося 31 декабря 1905 г., Попов скоропостижно скончался...

* * *

Настало время рассказать о том, какие типы передатчиков радиоволн сменяли друг друга и какие сегодня используются в технике радиовещания и радиосвязи. Их имеется несколько видов: искровые, дуговые, электромашинные, ламповые, транзисторные. Они появлялись именно в такой последовательности.

Искровой передатчик нам уже знаком — это вибратор Герца. Мощный искровой разряд порождает электромагнитные колебания. Снабдив передатчик элементарным дополнительным устройством автоматической генерации разрядов при замыкании какого-либо контакта, возможно передавать информацию посредством кода Морзе, с помощью точек и тире. Такими были первый передатчик Попова и первый передатчик Маркони.

Этому методу свойственно множество существенных недостатков, один из которых — широкая полоса частот, занимаемых в эфире. Например, лучший образец радиопередатчика, относящийся к 1906 г., спроектированный для работы на частоте 750 кГц, занимал полосу частот от 540 кГц до 1200 кГц! Сравнить такой передатчик можно разве что с электродрелью или пылесосом. Ситуация знакомая: достаточно вблизи современного радиовещательного приемника «запустить» двигатель бытовой техники, как из динамика раздастся сильный

треск, вызываемый искровыми разрядами у контактно-щеточного устройства. Тем не менее в начале XX в. искровые системы связи использовались широко.

Появлением искровых радиостанций в сухопутных войсках Россия обязана все тому же Александру Степановичу Попову. В 1900 г. он сам разыскал ненужные армейские конные повозки и разместил на них им же разработанные радиостанции. Связь устойчиво работала на расстоянии до 10 км, но в силу разных причин внедрение отечественной техники связи не пошло дальше испытаний на маневрах. Только после поражения в войне с Японией в 1904 г. началось распространение связных станций. Однако оснащение велось главным образом станциями фирм «Marconi» и «Telefunken» (Сименс и Гальске), которые даже открыли свои представительства на территории России.

К 1914 г. все корабли ведущих западных держав имели на своем борту радиоустановки. Россия к этому времени обладала 72 полевыми и 6 стационарными искровыми радиостанциями. Для связи с командованием Франции и Англии в Петрограде и Москве построили станции мощностью 100 кВт. В дальнейшем мощные станции были построены военным ведомством также в Николаеве, Ташкенте, Чите, Кушке, Владивостоке, Хабаровске и Харбине. Эти радиостанции, построенные по одной схеме, питались от аккумуляторных батарей напряжением до 12 кВ. Передача сообщений сопровождалась оглушительным «стрельбовым» грохотом разрядников, слышимым на расстоянии до 2 км!

Дуговой передатчик предложил в 1900 г. английский инженер-электрик **Вальдемар Дуддель**. Горящая дуга как вид электрического разряда также порождала мощные, незатухающие электромагнитные колебания. В 1902 г. датский инженер **Вальдемар Поульсен** построил первый дуговой телеграфный генератор электромагнитных волн, оказавшийся способным создавать меньшее количество помех. Германия ведет работы над созданием дуговых генераторов, не афишируя результатов. Преимущество дуговых генераторов по сравнению с искровыми в полной мере проявилось во время Первой мировой войны, когда корабли немецкого флота вдруг стали излучать непрерывный треск, за которым невозможно было различить передаваемые сообщения. Дуговые передатчики могли транслировать сигнал на расстояние до 12000 км и работали в диапазоне длинных волн.

Однако дуговые передатчики не избавились от недостатков искровых, таких, как помехи, нестабильность, низкий коэффициент полезного действия. В поиске источников формирования мощных незатухающих колебаний был изобретен **электромашинный передатчик**. Идея этого передатчика тоже весьма проста — электромеханический генератор, создающий ток высокой частоты, подключается к антенне и излучает электромагнитную волну. Генератор может обладать высокой стабильностью и эффективностью, создавать мало помех. Впервые электромашинный способ передачи радиосигнала использовал **Реджинальд Обри Фессенден** (1866—1932), канадец, профессор Питсбургского университета, консультант метеорологического бюро. В 1900 г. Фессенден пытался передать человеческую речь с помощью искрового радиопередатчика, разработав метод «наложения вибрирующих волн звуковой частоты на радиочастоту». Попытки использовать искровой передатчик окончились неудачей, но метод пригодился для реализации фундаментального принципа радиотех-

ники, называемого сегодня **амплитудной модуляцией**. Начав работу в 1902 г. в компании NESCO, финансировавшей разработку его идей, Фессенден вместе с инженером компании «General Electric» шведом **Эрнстом Александерсоном** (1878—1975) создал генератор переменного тока частотой 50 кГц. Этот генератор в 1906 г., в рождественский сочельник, Фессенден впервые применил для передачи голоса.

Передатчик и сложная антенная система с несколькими мачтами высотой 131 м располагались в Брант-Роке, небольшой деревушке на берегу Атлантического океана. Сам ученый так описывал это грандиозное историческое событие: «Судам американского флота было передано сообщение, что в канун Рождества, на сочельник, мы будем проводить экспериментальные радиопередачи речи, музыки, песен. Программа передачи была следующая: вначале моя краткая речь о том, что мы собираемся делать, затем немного музыки фонографа. Далее моя сольная игра на скрипке и песня «Почитание и смирение», из которой я спел один куплет под аккомпанемент скрипки. Затем шел текст из Библии: «Слава Богу на небесах и людям доброй воли на земле», и на этом мы закончили радиопередачу, желая всем счастливого Рождества».

В истории радиотехники Фессендена называют «отцом радиовещания». К концу жизни на счету ученого имелось более 500 изобретений, среди которых — генератор тока высокой частоты, фазометр, звуковой глубиномер, радиокомпас, устройства подводной сигнализации, гетеродинный приемник.

Несколько слов о коллеге Фессендена, Э. Александерсоне, разработчике электромашинных генераторов тока высокой частоты. В 1902 г., когда самые лучшие генераторы обеспечивали скорость вращения до 60 оборотов в минуту, создание генератора с частотой до 100 тысяч (!) оборотов казалось невозможным, фантастическим. Но с поставленной задачей Александерсон справился, причем настолько удачно, что знаменитый Маркони, посетивший конструктора в 1915 г. признал преимущество электромашинных генераторов перед искровыми и тут же предложил купить право на производство их у себя. Но ему удалось добиться только покупки готовых генераторов.

В 1925 г. Александерсон построил радиостанцию в Гриметоне, на западном побережье Швеции. В течение Второй мировой войны станция осуществляла прямую связь с США. В настоящее время эта станция — единственная сохранившаяся в рабочем состоянии с оборудованием на основе электромашинных генераторов переменного тока.

Производство электромашинных передающих станций было налажено и в России. Наиболее значимыми считаются разработки российского инженера **В. П. Вологдина** (1881—1953), который в 1912 г. создал первый электромашинный преобразователь энергии мощностью 2 кВт, в 1925 г. осуществил связь между Москвой и Нью-Йорком. Позже Вологдин разрабатывал системы связи на сверхдлинных волнах (СДВ). Интересно отметить, что Э. Александерсон был очень высокого мнения о разработках Вологдина и даже признавался, что они превосходят по техническому уровню его собственные!

И все же... И все же следует признать, что настоящий расцвет радиотехники пришел с изобретением **ламповых передатчиков**. Это случилось 10 апреля 1913 г., когда инженер немецкой фирмы «Telefunken» **Александр Мейснер** полу-

чил в немецком патентном бюро свидетельство об изобретении генератора переменного тока на основе триода Либена. Через два месяца Мейснер разработал радиопередатчик и осуществил с его помощью связь на расстоянии 36 км. В результате выяснилось, что ламповая схема передатчика по всем параметрам превосходит другие известные схемы. В 1915 г. американский инженер **Леон Хартли** разработал другую схему генератора, которая до настоящего времени известна под названием **индуктивная трехточечная схема**, или **генератор Хартли**. Другой американский инженер, **Эдвин Колпитц**, предложил вариант **емкостной трехточки**, или **генератор Колпитца**. «Трехточки», реализованные на современных транзисторах, популярны у нынешних радиолюбителей, конструирующих аппаратуру связи, измерительную аппаратуру.

После окончания Первой мировой войны, когда проблемы военной радиосвязи отошли на второй план — налаживалась мирная жизнь, — некоторые коммерсанты решили извлечь выгоду не только из производства средств связи. Решено было открыть массовые радиостанции, чтобы люди имели желание покупать радиовещательные приемники. Один из таких предпринимателей, **Д. Вестингауз**, вместе со своим давним знакомым, радиолюбителем **Ф. Конрадом**, основал в США первую коммерческую радиостанцию KDKA, которая начала регулярное вещание в 1920 г. В тот год в США проходили президентские выборы и сотрудники радиостанции сообщали о результатах голосования намного раньше газет, привлекая внимание слушателей. В 1924 г. в мире насчитывалось уже более 500 коммерческих радиостанций, люди активно покупали радиоприемники.

А что в России? В это время в России сменилась власть, к руководству пришли большевики, которые, надо отдать им должное, отнеслись к достижениям радиотехники более серьезно, чем царские чиновники. Лидер большевиков В. И. Ленин сразу же оценил могучую силу радио, подписав 21 июля 1918 г. декрет «О централизации радиотехнического дела». По его инициативе в декабре того же года создается первое научное радиотехническое учреждение — «Нижегородская радиолаборатория». Здесь работали в числе прочих известные читателю М. А. Бонч-Бруевич и В. П. Вологдин.

Первая радиовещательная станция, построенная на отечественных электронных лампах, начала работать в Москве в конце 1922 г. Вначале она называлась «Центральная радиотелефонная станция им. Коминтерна», позже ее назвали РВ-1. Излучаемая мощность станции в самом начале вещания не превышала 12 кВт, однако в то время она считалась самой мощной. Для сравнения: станция KDKA излучала тогда мощность 1,5 кВт. В 1933 г. мощность станции РВ-1 доводится до 500 кВт! Серийно выпускается станция «Малый Коминтерн» для установки в небольших городах страны, вводится в строй еще одна станция «Новый Коминтерн» мощностью 40 кВт...

Как ни странно, но произведения искусства — картины, скульптуры, украшения — сохраняются в веках лучше, чем предметы технической мысли. Многое из того, что было разработано на заре радиотехники, сохранилось лишь в фотографиях, рисунках, формулах, графиках. Многое, к сожалению, утрачено. Но многое хранится до сих пор, составляя фонд достижений нашей истории. Один из таких экспонатов до сих пор стоит в Москве под открытым

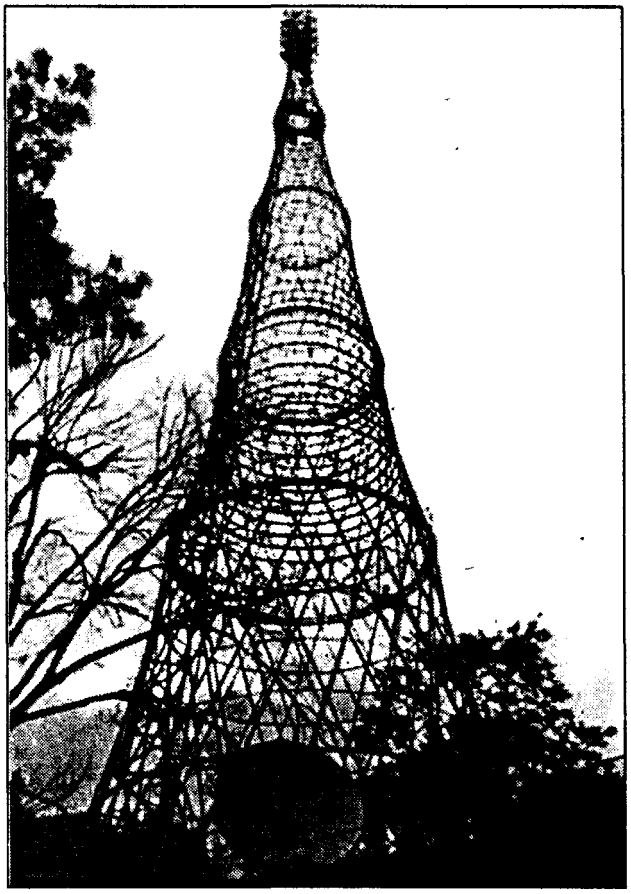


Рис. 10.6. Шуховская антенная башня

небом, поскольку ни в один павильон ему не поместиться. Это — знаменитая Шуховская башня, спроектированная инженером **Владимиром Григорьевичем Шуховым** (1853—1939) для размещения антенны станции РВ-1 (рис. 10.6). В то время (1922) Шуховская башня имела статус самого высокого в стране сооружения — ее высота и сейчас составляет 148 м. Первоначальный проект предполагал строительство трех таких башен высотой по 350 м и двух — по 275 м. Антенна, размещенная на такой конструкции, беспрепятственно обеспечивала бы связь с Нью-Йорком. Но... удалось построить только эту башню, значительно сократив ее размеры. Шуховская башня считается очень смелым проектом: ее конструкция с виду кажется неустойчивой, а на самом деле являет образец «ажурного монолита». Сегодня Шуховская башня продолжает работу, неся на себе антенны УКВ радиопередатчиков коммерческих радиостанций.

Дальнейшая история радиотехники — это история электрических схем, комплектующих элементов, история математического осмысления получаемых результатов, история уменьшения габаритов, повышения эффективности, снижения стоимости. Новую историю, однако, рассказывать очень сложно — она пестрит обилием интересных фактов, потрясающих идей, обилием имен и названий фирм. Следы этой истории есть в доме и у вас — это ламповые или транзисторные телевизоры и радиоприемники, это беспроводные и сотовые телефоны, это спутниковые телевизионные системы. Возможно, когда-нибудь и вы, уважаемые читатели, внесете вклад в развитие этой области человеческой деятельности. ■

Особенности распространения радиоволн

Глядя на мир, нельзя не удивляться.

Козьма Прутков

Историю открытия электромагнитных волн вы теперь знаете хорошо. Но что собой представляет электромагнитная волна, радиоволна, как она распространяется в пространстве, что влияет на распространение, какие волны и почему используются в радиотехнике — об этом предстоит узнать сейчас.

Как устроена электромагнитная волна? Очень просто — взгляните на рис. 10.7. Мы уже знаем, что переменное электрическое поле рождает перемен-

ное магнитное поле и наоборот. Вспомните также детскую игру «хождение по болоту», когда участникам дают два маленьких коврика, на которые они должны наступать. Поэтому, чтобы совершать движение, нужно постоянно эти коврики передвигать — то один, то другой. Так и электромагнитная волна. Она напоминает отрезок цепи, в котором имеется два колечка, причем заднее колечко всегда норовит встать вперед. Колечко «Н» — магнитного поля, «Е» — электрического. Возникнув в пространстве, например «уйдя» с антенны, кольцо «Е» выдвинет вперед себя кольцо «Н», затем кольцо «Е» исчезнет. А кольцо «Н» выдвинет вперед себя кольцо «Е». Вот так электромагнитная волна распространяется в пространстве. Поскольку электромагнитную волну рождают только переменные поля, графическое представление волны несколько изменяют, переходя от «колец» к синусоидам (рис. 10.8). Вертикальное поле в данном случае — поле электрическое, горизонтальное — магнитное. Впрочем, положения полей могут быть и другими — например, электрическое поле может быть горизонтальным или наклонным. Это свойство называется **поляризацией** электромагнитной волны.

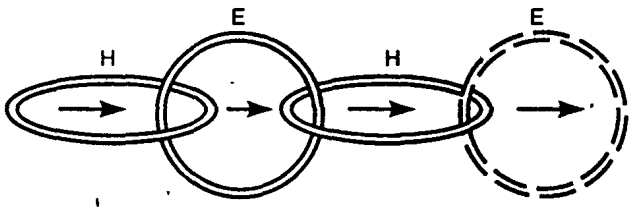


Рис. 10.7. Распространение электромагнитной волны

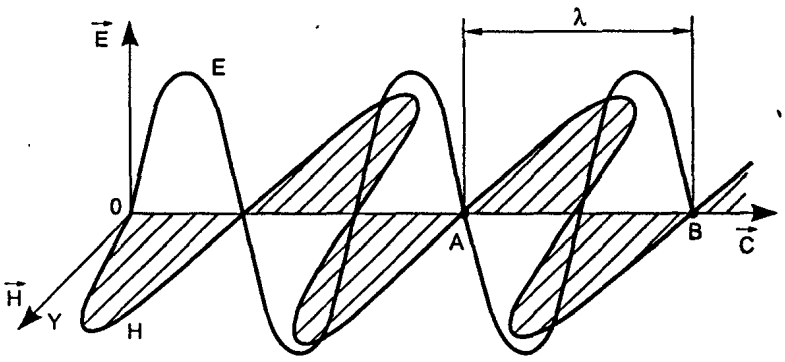


Рис. 10.8. Физическая сущность электромагнитной волны

Конечно, амплитуда электрической и магнитной составляющих волны, распространяющейся в какой-нибудь среде, например в воздухе или в кирпичной кладке домов, постепенно уменьшается. Говорят, что в веществе электромагнитная волна постепенно **затухает**. Но в вакууме волна может распространяться без затухания неограниченно долго. Интересный пример в данном случае являет нам космическое **реликтовое излучение**, открытое совсем недавно. Как известно, появившаяся в 20-х гг. XX в. теория возникновения Вселенной в результате большого взрыва предполагала обнаружение в пространстве остатков этого процесса — электромагнитных волн. Сегодня реликтовое излучение обнаружено. Реликтовые электромагнитные волны прошли путь, равный миллиардам световых лет (!). Это — слепки молодой Вселенной, ее следы.

Но вернемся к делам земным. Чуть выше мы упоминали о том, что разработчики радиостанций постоянно стремились повысить излучаемую мощность. Эта мощность переносится электромагнитной волной.

Как видно из рис. 10.8, **компоненты** электромагнитной волны — магнитная и электрическая — имеют колебательный характер, значит, в качестве характеристики волны можно ввести ее **частоту**. Однако, поскольку волна распространяется в пространстве, точки А и В, в которых колебания имеют одинаковую

фазу, отстоят друг от друга на определенном расстоянии, очевидно, связанном с частотой. Понятно также, что скорость волны не равна бесконечности, а ограничена. Чем быстрее распространяется волна, чем больше будет ее **скорость**, тем дальше будут отстоять друг от друга точки А и В, тем меньше будет ее частота и больше **длина**. Очевидно, что частота, длина и скорость волны связаны между собой! Помните, еще в опытах Герца было выяснено, что скорость распространения электромагнитной волны равна скорости света. Чуть позже установили — в среде, отличной от вакуума, волна распространяется немного медленнее. Если обозначить скорость буквой c, частоту — f, а длину — λ, то получим простое соотношение для связи перечисленных характеристик:

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

Точное значение скорости распространения электромагнитной волны в вакууме:

$$c = 2{,}997925 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Электромагнитные волны имеют очень широкий диапазон длин. Для того чтобы классифицировать волны по отличительным признакам и характерным особенностям, введена так называемая **шкала электромагнитных излучений**.

Таблица 10.1. Шкала электромагнитных излучений

Частота, Гц	Длина волны, м	Название диапазона	Основные источники возбуждения
$10^{-2}...10^{3}$	$3 \cdot 10^{11}...3 \cdot 10^{5}$	Низкочастотные (сверхдлинные) волны	Генераторы специальных конструкций, генераторы промышленной частоты 50 Гц, генераторы звуковых частот
$10^{3}...10^{12}$	$3 \cdot 10^{5}...3 \cdot 10^{-4}$	Радиоволны	Генераторы радиочастот до 300 МГц, генераторы сверхвысоких частот (СВЧ)
$10^{12}...4 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{-4}...8 \cdot 10^{-7}$	Инфракрасное излучение	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрохимических воздействиях
$4 \cdot 10^{14}...8 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{-7}...4 \cdot 10^{-7}$	Видимое излучение (длина волны от 800 до 400 нм)	Любой источник света, видимого глазом
$8 \cdot 10^{14}...3 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{-7}...10^{-9}$	Ультрафиолетовое излучение, мягкое рентгеновское излучение	Излучение атомов при облучении вещества электронами с низкой энергией движения
$3 \cdot 10^{17}...3 \cdot 10^{20}$	$10^{-9}...10^{-12}$	Рентгеновское излучение	Атомные процессы, которые возбуждаются электронами с высокой энергией движения
$3 \cdot 10^{20}...10^{23}$	$10^{-12}...3 \cdot 10^{-15}$	Гамма-излучение	Ядерные процессы, радиоактивные распады

Изучая эту таблицу, можно сделать вывод, что видимый человеческим глазом свет тоже представляет собой электромагнитную волну, правда, имеющую частоту намного выше частоты радиоволн. Радиотехника никогда не «заползает» дальше диапазона радиоволн и очень редко пользуется низкочастотными волнами. Поэтому рассмотрим деление радиочастот согласно международному регламенту радиосвязи, которое приведено в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Диапазоны радиочастот

Наименование диапазона	Границы диапазона, ед. частоты	Границы диапазона, ед. длины
Крайне низкие (КНЧ, декамегаметровые) частоты	3...30 Гц	100...10 Мм
Сверхнизкие (СНЧ, мегаметровые) частоты	30...300 Гц	10...1 Мм
Инфранизкие (ИНЧ, гектокилометровые) частоты	0,3...3 кГц	1000...100 км
Очень низкие (ОНЧ, мириаметровые) частоты	3...30 кГц	100...10 км
Низкие (НЧ, километровые) частоты	30...300 кГц	10...1 км
Средние (СЧ, гектометровые) частоты	0,3...3 МГц	1...0,1 км
Высокие (ВЧ, декаметровые) частоты	3...30 МГц	100...10 м
Очень высокие (ОВЧ, метровые) частоты	30...300 МГц	10...1 м
Ультравысокие (УВЧ, дециметровые) частоты	0,3...3 ГГц	1...0,1 м
Сверхвысокие (СВЧ, сантиметровые)	3...30 ГГц	10...1 см
Крайне высокие (КВЧ, миллиметровые)	30...300 ГГц	10...1 мм
Гипервысокие (ГВЧ, децимиллиметровые)	0,3...3 ТГц	1...0,1 мм

Наиболее широко в средствах связи и вещания используются диапазоны начиная от НЧ и заканчивая УВЧ. В диапазонах НЧ, СЧ, ВЧ и ОВЧ работают трансляционные передатчики, средства радиолюбительской и профессиональной связи, средства военной связи. Диапазон УВЧ используется для работы домашних мобильных телефонов, сотовой связи. Диапазон СВЧ отдан средствам космической связи, спутниковым системам телевещания, трансляции, передаче цифровых данных. Диапазон КВЧ — это диапазон работы радарных систем.

Диапазоны СНЧ, ИНЧ и ОНЧ использовать очень сложно, так как для эффективного излучения электромагнитных волн и их дальнего приема необходимы антенны, приближающиеся в своих размерах к длинам этих волн; то есть в десятки, сотни и даже тысячи километров. Мы знаем об этом из ответа Герца инженеру Губеру.

Однако люди научились использовать и эти диапазоны волн, причем совершенно неожиданно. Как вы думаете, насколько хорошо распространяются электромагнитные волны в морской воде, являющейся проводником электрического тока? Распространяются, но очень плохо. Чем выше частота волны, тем сильнее она поглощается морской водой, тем быстрее она затухает. По

этой причине конструкторы подводных лодок были вынуждены отказаться от радиосвязи на глубине и придумывать разные хитрые способы с выбрасыванием на поверхность радиобуев. Но когда обнаружили, что электромагнитные волны очень низких частот слабо поглощаются морской водой, то разработали связь, впрочем, одностороннюю с лодкой в подводном положении. Для того чтобы принять сигнал, лодка разматывает **буксируемую антенну** длиной в десятки километров и принимает информацию, а затем антенну сматывает.

Радиопередающие средства этой системы связи могут впечатлить любого. По некоторым сведениям, американская антенна связи с подводными лодками занимает площадь целого штата. Она представляет собой сетку с размером ячеек около километра, закопанную в землю. Есть ли такая система связи в России, авторам неизвестно.

Радиовещательные диапазоны также имеют четкое деление, приведенное в табл. 10.3.

Таблица 10.3. Радиовещательные диапазоны

Название диапазона	Поддиапазон	Частота волны, МГц
Длинные волны (ДВ)	—	0,15...0,285
Средние волны (СВ)	—	0,525...1,605
Короткие волны (КВ)	75 метров	3,950...4,000
—	60 метров	4,750...5,060
—	49 метров	5,950...6,200
—	41 метр	7,100...7,300
—	31 метр	9,500...9,775
—	25 метров	11,700...11,975
—	19 метров	15,100...15,450
—	16 метров	17,700...17,900
—	13 метров	21,450...21,750
—	11 метров	25,600...26,100
1 и 2 каналы телевидения	—	48,5...66,0
Ультракороткие волны (УКВ)	OIRT	65,8...73,0
3...5 каналы телевидения	—	76,0...100,0
Ультракороткие волны (FM)	CCIR	87,5...108,0
6...12 каналы телевидения	—	174,0...230,0
21...60 каналы телевидения	—	470,0...790,0

Поговорим теперь о распространении радиоволн в пространстве. Красноречивый пример, относящийся к 1930 г., позволит задать множество вопросов. **Эрнст Теодорович Кренкель** (1903—1971), российский полярник, радист советских полярных станций и арктических экспедиций, а впоследствии — член

редколлегии популярной серии книг «Массовая радиобиблиотека», находясь на Земле Франца-Иосифа, впервые установил на коротких волнах прямую двустороннюю связь с американской экспедицией Р. Бэрда, зимовавшей на шельфовом леднике Росса (Антарктида). Связь на 20 000 км долго оставалась мировым рекордом дальности. Как удалось Кренкелю связаться с противоположной точкой земного шара, излучая микроскопическую мощность в единицы ватт?

Еще один пример из жизни Кренкеля, о котором рассказывает Б. А. Кремер, относится к гибели теплохода «Челюскин» в арктических льдах и последующей зимовке на льду: «Аварийную станцию Кренкель монтировал в брезентовой палатке. В палатке было так же холодно, как и на улице, и работать было мучительно тяжело. Холодные плоскогубцы, нож, провода обжигали голые руки — не будешь же вести монтаж в рукавицах, и время от времени он вынужден был отрываться от дела, чтобы хоть немного отогреть закоченевшие пальцы в рукавах своей куртки. Первые попытки вступить в связь с какой-либо береговой радиостанцией не принесли успеха. Кренкель отчетливо слышал переговоры между радистами Уэлена и мыса Северного, но никто из них, несмотря на самое тщательное наблюдение за эфиром, маломощный рейдовый передатчик Кренкеля не слышал. Лишь наутро состоялась первая связь с Уэленом».

А вот пример необычного характера распространения электромагнитных волн, который приводит известный радиолюбитель-популяризатор Владимир Тимофеевич Поляков: «Интересный случай произошел с моим хорошим другом, радиолюбителем и полярником, на дрейфующей станции «Северный полюс». Как-то он захватил на зимовку портативный батарейный приемник «Океан» и, включив УКВ-диапазон, стал слушать передачу радиостанции «Маяк». Лишь спустя некоторое время он сообразил, что на Северном полюсе это невозможно! Тем не менее случай был, и, чем его объяснить, я не знаю».

Чтобы ответить на этот и другие вопросы, давайте познакомимся с основами науки с названием «Распространение радиоволн», рассмотрим строение атмосферы Земли и ее влияние на радиоволны разных диапазонов.

Впервые разницу в дневном и ночном приемах радиосигналов обнаружил Г. Маркони в 1902 г. В этом же году английский физик **Оливер Хевисайд** (1850—1925) сделал предположение, позже получившее полное экспериментальное подтверждение. Предположение заключалось в следующем: над поверхностью Земли, на высоте 60...2000 км атмосфера находится в особом состоянии. Газы на этой высоте под действием ионизирующего излучения Солнца переходят в **ионизированное** состояние. Поэтому описываемый слой, названный **ионосферой**, оказывает большое влияние на распространение радиоволн: она может **поглощать** радиоволны, может их **отражать**, а может **пропускать** беспрепятственно. Иногда ионосферу называют **слоем Хевисайда**.

Долгое время проводить исследования ионосферы представлялось затруднительным, и только в начале 1960-х гг., благодаря искусственным спутникам Земли, удалось досконально изучить механизмы ионизации. Оказывается, основным источником ионизации выступают ультрафиолетовые лучи Солнца и солнечная радиация. На ионосферу оказывает также влияние излучение удаленных звезд — это 0,1% — не так много, но если учесть их удаленность... Ионизирует атмосферу Земли и космическая пыль. К нерегулярным источни-

кам ионизации относятся мощные корпускулярные потоки, которые возникают в периоды солнечной активности, и метеорные потоки.

Впервые серьезные исследования ионосферы провел в 20-х гг. XX в. англичанин **Эдуард Виктор Эплтон**. Занимаясь вопросами снижения электромагнитных помех во время приема, Эплтон заинтересовался различием ночных и дневных сеансов связи. Причину явления Эплтон назвал **замираниями эфира**. Он доказал, что ночью радиоприемник принимает только волны, распространяющиеся вдоль земной поверхности, а ночью добавляются волны, отраженные от ионосферы. Также он впервые показал, что ионосфера не однородна, а состоит из **слоев**. Один из таких слоев, обозначаемых буквой F, носит название **слоя Эплтона**.

Каковы наши сегодняшние знания об ионосфере? Взгляните на рис. 10.9. Сегодня мы абсолютно достоверно знаем, что ионосфера состоит из четырех слоев. Слой D — самый низкий, он расположен на высоте 60...80 км и существует только в дневные часы. Ночью под действием механизма ионной рекомбинации слой D исчезает. Слой E, расположенный на высоте 100...150 км, имеет низкую концентрацию ионов и ночью также практически полностью исчезает. Самый верхний слой, обозначаемый, как F, в дневные часы распадается на два слоя — F1 и F2. Слой F, характеризуемый наибольшей ионной концентрацией, располагается на высоте 300...450 км в летнее время и 250...350 км в зимнее время. Основное влияние на распространение радиоволн оказывает слой F2.

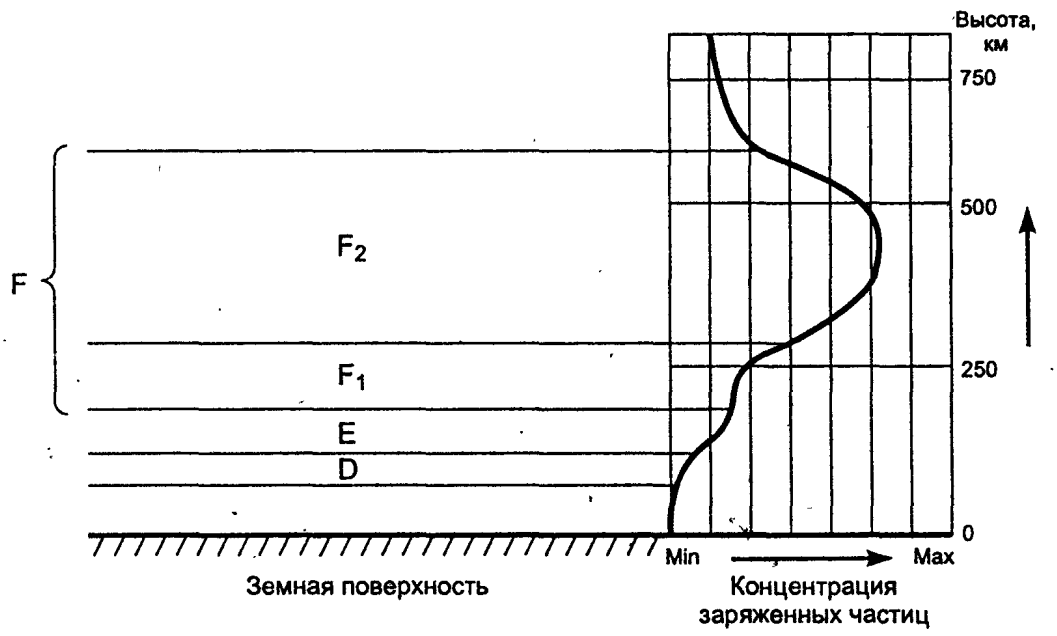


Рис. 10.9. Строение ионосферы

Существует также слой E_s, условно называемый **спорадическим**. Вообще это образование сложно назвать слоем, так как возникает спорадический слой нерегулярно. Он представляет собой скопление сильно ионизированных облаков, разделенных промежутками слабо ионизированного газа. Чаще всего этот слой возникает летом.

Радиоволны имеют интересную особенность — в неоднородных средах они распространяются не прямолинейно, а несколько изгибаются. Чем больше

неоднородность среды, тем и изгибание их больше. Постоянно преломляясь в ионосфере, электромагнитная волна может занять положение, параллельное земной поверхности, и даже вернуться на Землю. Если же отражающей способности ионосферы недостаточно, волна уходит в космическое пространство. Чем больше длина волны, тем меньшая степень ионизации требуется для обеспечения нормального отражения радиоволны. И наоборот — чем выше частота, тем труднее ионосфере преломлять волну. Свойство электромагнитной волны изгибаться под действием неоднородностей называется **рефракцией**. Есть еще одно свойство электромагнитной волны, которое называется почти так же — **дифракцией**, — но имеет совершенно другой физический смысл. Дифракция — это способность волн огибать препятствия (рис. 10.10). Исследования показывают, что дифракционные свойства присущи радиоволнам любой длины, хотя по мере укорочения волны способность к дифракции резко падает.

Рис. 10.10. Дифракция радиоволн

Итак, в реальных условиях любая электромагнитная волна может попадать из точки излучения в точку приема двумя путями: огибая земную поверхность вследствие неоднородности атмосферы (поверхностная волна) и вследствие отражения от ионосферы (объемная волна), что показано на рис. 10.11.

Рис. 10.11. Распространение поверхностной и объемной волн

Земная поверхность проводит электрический ток, правда, недостаточно хорошо, и часть энергии волны при этом поглощается. Поглощение энергии резко возрастает с частотой. Поэтому длинные и средние волны распространяются поверхностным способом значительно дальше, чем волны более высоких частот. Чем короче волна, тем больше затухает пространственный луч и меньше — объемный.

Рис. 10.12. Разные волны по-разному реагируют на наличие ионосферы

Электромагнитные волны длинноволнового диапазона (ДВ) могут огибать земную поверхность при распространении на расстояния не более 3000 км. Отражение длинных волн от ионосферы наблюдается главным образом в ночные часы, когда ионная концентрация слабее и поглощение не столь велико. Поэтому дальность распространения длинных волн днем меньше, чем ночью.

К длинноволновому диапазону наиболее близко примыкает диапазон средних волн (СВ), испытывающий отражение от более высоких слоев ионосферы, — от верхних областей слоя Е и от слоя F1. Днем, при высокой ионной

концентрации,. объемный луч очень сильно поглощается ионосферой и возвращается на Землю настолько ослабленным, что его присутствие практически не сказывается на дальности приема. Поверхностная волна также сильно затухает из-за потерь в земле. Поэтому днем диапазон средних волн мало насыщен станциями. Ночью, когда концентрация слоя Е резко снижается, дальность распространения средних волн значительно увеличивается. Практически это означает, что днем средневолновый приемник может «поймать» только местные станции, а вечером и ночью можно слушать также европейские «голоса» (рис. 10.12).

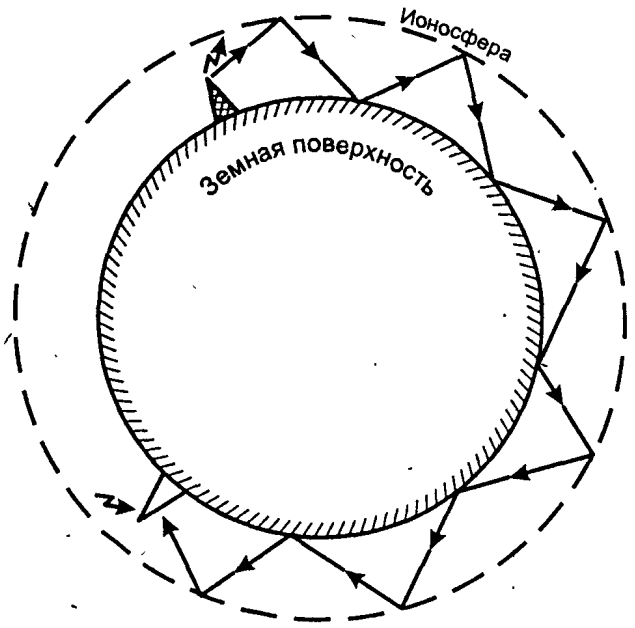


Рис. 10.13. Многократное отражение волн КВ диапазона

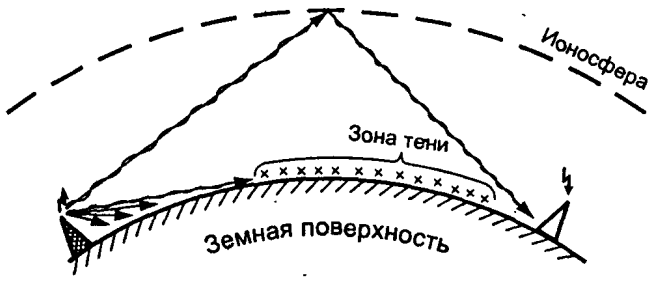


Рис. 10.14. Зона тени при излучении волн КВ диапазона

Самым интересным является распространение волн коротковолнового (КВ) диапазона. Поверхностная волна диапазона КВ затухает очень быстро, зато очень медленно затухает объемная волна. Из-за этого волна, многократно отражаясь то от поверхности Земли (рис. 10.13), то от ионосферного слоя F, может вообще «пробежать» вокруг света и вернуться в точку излучения! Вот почему Кренкель смог установить коротковолновую связь с Южным полюсом, находясь на Северном, — в противоположной точке.

Коротковолновый диапазон, однако, таит в себе массу «подводных камней», массу неудобств. Во-первых, изменчивость условий распространения, диктуемая земной атмосферой, во-вторых, существование **зоны молчания (зоны тени)**, где поверхностной волны уже нет, а объемная «перепрыгивает» это место (рис. 10.14). Чем короче волна, тем шире зона молчания, так как объемный луч слабее преломляется и возвращается на Землю дальше от передатчика. Еще один недостаток коротких волн — наличие ощутимых **замираний**, когда неожиданно принимаемая станция начинает звучать тише, а то и вообще пропадает. В диапазоне средних волн, впрочем, замирания не так заметны. Природа замираний — сложение в противофазе нескольких объемных лучей, попадающих в точку приема разными путями. В результате явления, называемого **интерференцией**, две волны могут скомпенсировать друг друга, получив нулевой результат. До определенной степени борьба с замираниями возможна введением в приемник системы **автоматической регулировки усиления** (АРУ), идея которой была реализована еще в начале 30-х гг. XX в.

Волны УКВ-диапазона практически не огибают земной поверхности и не испытывают отражения от ионосферы. Другими словами, УКВ волны обладают слабыми дифракционными и рефракционными свойствами в отношении земной поверхности. Поэтому они распространяются только поверхностной волной, в пределах прямой видимости, при сильном поглощении энергии поверхностью Земли. Эта особенность распространения УКВ волн заставляет строить высокие антенны. Беспредельно наращивать мощность передатчика здесь уже не имеет смысла, так как таким методом не обеспечить увеличения «дальнобойности» вещания. Чтобы передавать сигнал за зону прямой видимости, в технике УКВ связи используются ретрансляторы — так называемые **радиорелейные линии**.

Свойство УКВ волн проникать через ионосферу используется в технике космической связи. УКВ волны диапазона 4...10 м вообще-то могут испытывать отражение от спорадического слоя E_s и от слоя F2 в годы максимальной солнечной активности, распространяясь на большие расстояния. Однако это явление носит случайный характер и не учитывается при проектировании радиовещательного оборудования. На распространение ультракоротких волн сильное влияние оказывает тропосфера — нижний слой атмосферы на высоте 10...14 км. Тропосфера обладает большой неоднородностью, вследствие чего дальность распространения УКВ волн может как уменьшиться, так и увеличиться. Тропосферное распространение волн характеризуется высокими показателями рефракции. Еще одно интересное явление, могущее возникнуть в тропосфере, — это **сверхрефракция** (рис. 10.15). Благодаря ей в тропосфере может возникнуть **волновод**, напоминающий длинную изогнутую трубу, по которой УКВ волна распространяется на расстояния более 1000 км — в 10 раз больше по сравнению с обычной дальностью распространения. УКВ волны могут также распространяться за счет сверхрефракции при наличии сильной неоднородности в ионосфере, возникающей при прохождении метеорных потоков. Но обольщаться не стоит: сверхрефракция — тоже случайное и нестабильное состояние атмосферы.

Читатели спросят: «Если УКВ радиоволны имеют столько недостатков, не проще было бы отказаться от их использования?» Оказывается, только на УКВ возможна организация многоканальной сотовой связи с большим количеством

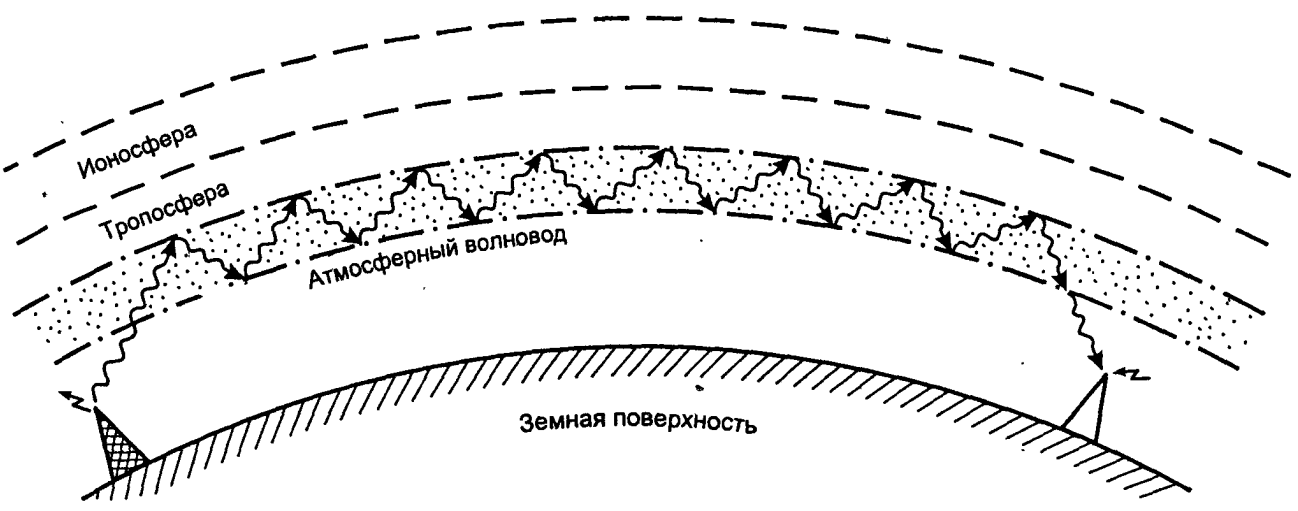


Рис. 10.15. Явление сверхрефракции УКВ радиоволн

одновременно работающих каналов. Только на УКВ возможно высококачественное музыкальное стереовещание. Наконец, только в УКВ-диапазоне могут работать современные телевизионные системы.

Волны СВЧ и КВЧ-диапазона отражаются даже от небольших предметов и чаще всего возвращаются в точку приема. На основе данного открытия и строятся все радиолокационные системы (рис. 10.16). К недостаткам волн этого диапазона следует отнести их поглощение **гидрометеорами** — дождем, снегом, градом, туманом. Волны диапазона КВЧ вдобавок ко всему поглощаются молекулами кислорода и водяными парами. Чтобы радарные системы работали эффективно, приходится излучать большие мощности, разрабатывать достаточно сложные схемные и конструктивные решения такой аппаратуры. Но сегодня от радаров отказываться рано, поскольку они — основное средство морской и летной навигации, противовоздушной обороны.

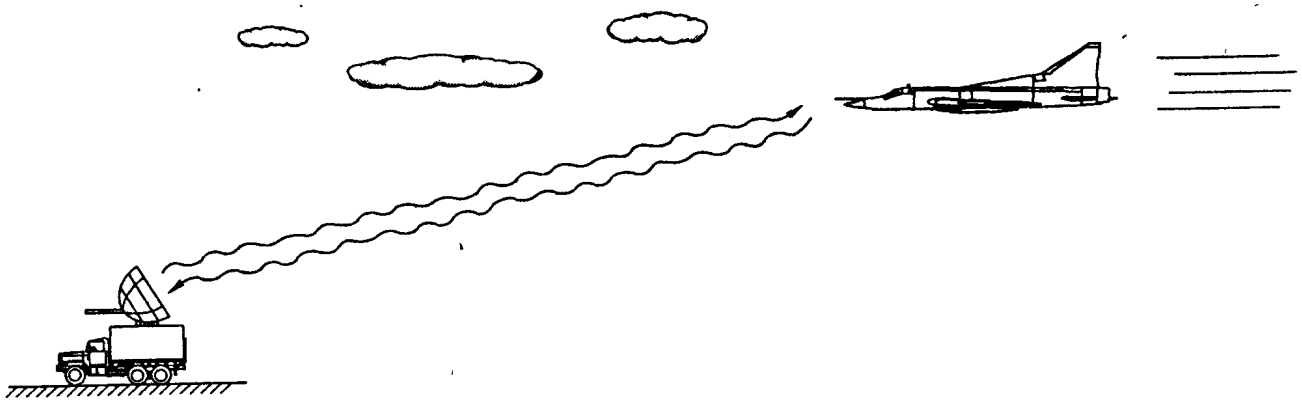


Рис. 10.16. Радиолокационная система

Распространение радиоволн — очень серьезная на занимаются ученые всего мира. В России этой проблемой занимает земного магнетизма и распространения радиоволн (ИЗМИРАН), расположенный в Московской области. Институт регулярно публикует прогнозы распространения радиоволн, предназначенные как для профессиональных связистов и навигаторов, так и для радиолюбителей. ■

Виды антенн и что из них можно использовать дома

То, что кажется странным,
редко остается необъясненным.

Георг Кристоф Лихтенберг

Радиосвязь и радиовещание немыслимы без антенной техники. Антенны, излучающие и принимающие радиоволны, использовались, как мы успели убедиться, и на заре радиотехники, применяются они и сейчас. К настоящему времени разработано великое множество антенн разных размеров, конструкций, эффективности. Появилась даже целая наука, занимающаяся только антенной техникой. Поскольку мы только начинаем вступать в мир радиоволн, нам просто необходимо познакомиться с наиболее распространенными типа-

ми антенн. Однозначно можно утверждать, что без антенны ваш радиоприемник будет только шипеть, а позывные вашего радиопередатчика никто не сможет принять.

Где можно увидеть антенну? Во-первых, обратите внимание на крышу своего дома. Наверняка вы заметите там телевизионную антенну, принимающую телесигнал. Это — **приемная антенна**. Она может иметь множество конструктивных вариантов — две простые трубочки, напоминающие вибратор Герца, подковообразную горизонтальную сплюснутую петлю, «паутинку» в круглом обруче, несколько ромбиков, расположенных друг над другом, горизонтальную трубку, поперек которой установлена «лесенка» из таких же трубочек. Эти антенны имеют свои названия — **диполь, петлевой вибратор, «паутинка», ромбическая, волновой канал** (рис. 10.17). Имеется еще ряд конструкций, которые мы здесь не называем. Телевизионные антенны могут также состоять из нескольких вариантов антенн, установленных на одной несущей мачте. Этим достигается оптимальный прием сигналов разных частот. Антенны в таком случае просто переключаются, или их сигналы складываются в специальном устройстве — **частотном сумматоре**.

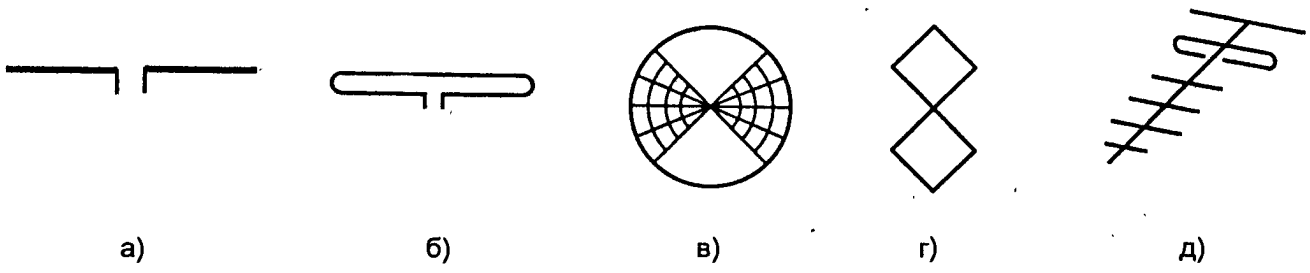


Рис. 10.17. Виды используемых в телевидении антенн:
***а* — диполь; *б* — петлевой вибратор; в — «паутинка»; *г* — ромбической; *д* — волновой канал**

Значительно отличается от приемных конструкция передающих телевизионных антенн (рис. 10.18). Мы уже знаем, что телевещание возможно в диапазоне волн не ниже УКВ. Из-за этого передающая антенна требует установки на большой высоте — иначе территориальный охват будет очень маленьким. Уникальные сооружения, создаваемые для передающих телеантенн, — телебашни, — наряду с другими историческими памятниками, стали символами крупных городов. Порой только по одному виду, открывающемуся на телебашню, можно назвать город. Передающая телеантенна состоит из ряда дипольных излучателей (вибраторов Герца), расположенных вертикально на специально рассчитанном расстоянии друг от друга. Излучателей может быть много — десять и больше. Зачем? Если, скажем, передающую антенну выполнить в виде одного диполя, то окажется, что большая часть сигнала будет «уходить» не по направлению к земному

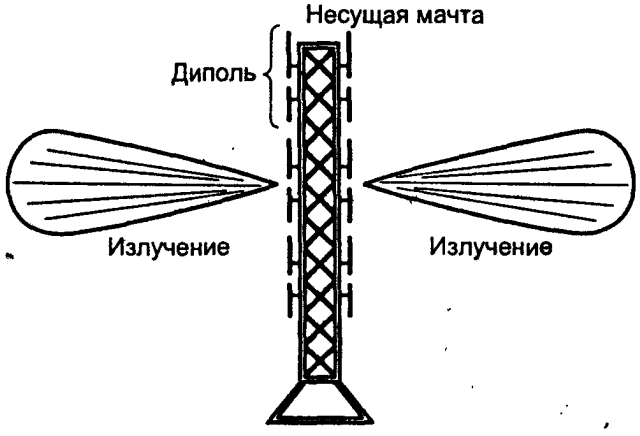


Рис. 10.18. Передающая ТВ антенна

горизонту, но также и вверх. Для кого нужны такие растраты сигнала? Для птиц и космонавтов? Электромагнитная волна, формируемая телеантенной, должна иметь вид, напоминающий луч прожектора. А обеспечивает «луч» как раз линейка диполей, выстроенных в ряд. Специалисты говорят, что антенна приобретает **острую направленность**.

Здесь мы подошли к одному из главных свойств любой антенны, называемом **диаграммой направленности**. Представить диаграмму направленности можно из следующего примера. Допустим, мы окружили антенну большой шарообразной оболочкой, напоминающей мыльный пузырь, и стремимся замерить в каждой его точке уровень сигнала, исходящий от антенны. Если излучение ненаправленное, в каждой точке пузыря мы измерим одинаковый уровень. А если имеется направленность, на пузыре образуется как бы пятно. Это пятно — зона максимального излучения антенны (рис. 10.19).

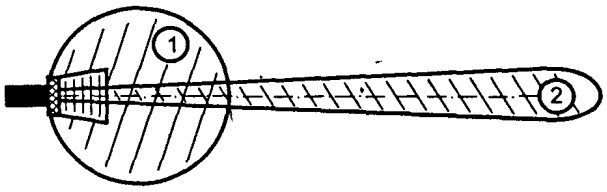


Рис. 10.19. Диаграмма направленности антенны: 1 — слабонаправленной; 2 — остронаправленной

Диаграммой направленности характеризуются и приемные антенны. Направленные антенны, кстати, более предпочтительны в технике телеприема, так как меньше «насасывают» помехи со сторон, расположенных вне зоны максимума сигнала. Однако их надо точнее устанавливать в направлении на передающую антенну.

Чем еще характеризуется та или иная антенна? У нее есть очень важный параметр — **действующая высота**. Чтобы понять, что такое действующая высота, взглянем на рис. 10.20. Антенна — это всего лишь преобразователь электромагнитной волны в ЭДС. Причем преобразовываться в ЭДС может, как мы уже знаем, и электрическая, и магнитная составляющие. Электромагнитная волна в любой точке пространства характеризуется **напряженностью** своих компонент — электрической и магнитной. Но напряженность электрического поля, единицей которой служат [В/м], должна быть как-то преобразована в вольты, которые можно будет подвергнуть преобразованиям в тракте радиоприемника. Очевидно, что, домножив напряженность поля на единицу длины, мы и получим те самые долгожданные вольты:

$$E_c = E \cdot h_д,$$

где E_c — ЭДС сигнала на входе приемника, В;

E — напряженность электрического поля в точке приема, В/м;

$h_д$ — коэффициент пропорциональности (действующая высота антенны), м.

Какую информацию несет это соотношение? Очень важную! Оказывается, действующая высота антенны зависит не только от собственно высоты ее установки, но также и от конструктивных параметров. Соответственно, установив в

одной и той же точке две разные по конструкции антенны, можно получить разный уровень ЭДС на ее выходе!

Как видно из рис. 10.20, антенна представляет собой простой генератор ЭДС со своим внутренним сопротивлением Z_a. Наличие этого внутреннего сопротивления, которое, в зависимости от конструкции антенны и длины волны, принимаемой ею, может быть и чисто активным, и реактивным. В этой книге мы не будем подробно рассматривать вопросы, связанные с сопротивлением антенны, скажем лишь, что данное обстоятельство вызывает необходимость **согласовывать** радиоприемник с антенной для более эффективного приема. Теория антенной техники утверждает, что лучше всего передавать в нагрузку (на вход радиоприемника) максимальную **мощность**, а для этого необходимо соблюсти условие равенства сопротивлений антенны и нагрузки.

Поговорим теперь о конструкциях антенн. Самая простая и до сих пор популярная у радиолюбителей — **симметричный вибратор** (диполь, вибратор Герца), изображенный на рис. 10.21. Антенна состоит из двух проводников одинаковой длины, между которыми включена линия, соединяющая антенну с приемником, — **фидер**. Наиболее эффективным считается полуволновой вибратор, у которого длина плеча (l) выбирается равной четверти длины принимаемой волны (λ). Отсюда следует важный вывод: практически все антенны имеют неравномерную **частотную характеристику**. То есть наиболее эффективный прием будет осуществляться для волны какой-то определенной длины. Чем больше длина волны отличается от расчетной, тем хуже условия приема. Это обстоятельство заставляет использовать разные антенны для приема волн разных длин. Однако волны с примерно близкими длинами чаще всего можно принимать на одну и ту же антенну, спроектированную на середину диапазона, — без заметного ухудшения качества приема.

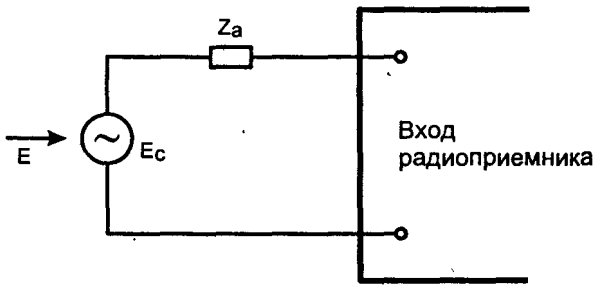


Рис. 10.20. Эквивалентное представление антенны через источник ЭДС

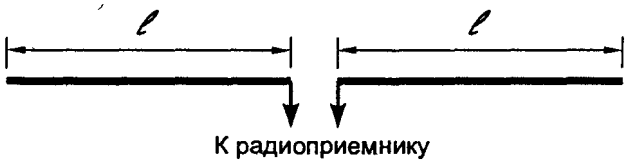


Рис. 10.21. Симметричный вибратор (диполь)

Очень важный момент — поляризация волны, о которой мы говорили выше. Передающие антенны ДВ и СВ радиостанций излучают вертикально-поляризованную волну, у которой электрическая составляющая вертикальна, поэтому для ее приема дипольные антенны нужно располагать вертикально. Другой интересный и, возможно, для кого-то печальный вывод можно сделать, рассчитав реальные размеры симметричных вибраторов. Оказывается, только вибраторы УКВ-диапазона могут помещаться в городской квартире. Антенны же для приема волн КВ и уж тем более СВ и ДВ диапазонов имеют очень большие размеры. Поэтому их выносят на улицу, располагая на крыше дома, между домами, между деревьями. Радиовещатели, работающие в этих

диапазонах, зная, какая антенна нужна для качественного приема, решили «не издеваться» над слушателями, а просто увеличили мощность своих передающих станций. Коротковолновики-любители не могут произвольно наращивать мощность своих станций до бесконечности, поэтому они просто вынуждены выносить на крыши своих домов тщательно изготовленные крупногабаритные антенны.

В памяти одного из авторов этой книги осталась история, свидетелем которой он был на протяжении десятка лет, совершая выезды на дачу. Напротив железнодорожной станции стоял высокий многоквартирный жилой дом. В ожидании поезда ничего не оставалось, как изучать окрестности, в том числе и заглянуть на крышу этого дома. Так вот, на крыше сначала была протянута горизонтальная проволока полуволнового диполя, потом ее сменил примерно десятиметровый куб на мачте, позже вместо куба появилась плоская решетка. Скорее всего, коротковолновик-любитель, живший в доме, по мере возрастания знаний и возможностей повышал эффективность своей аппаратуры.

Действующая высота полуволнового вибратора рассчитывается по формуле:

$$h_д = \frac{\lambda}{\pi}.$$

Внутреннее сопротивление ($Z_а$) этого вида антенны составляет 73 Ом. Оно несет чисто активный характер и согласуется со стандартным входным сопротивлением 75 Ом. Диаграмма направленности этой антенны — слабо выраженная. Она имеет вид «восьмерки» и показана на рис. 10.22.

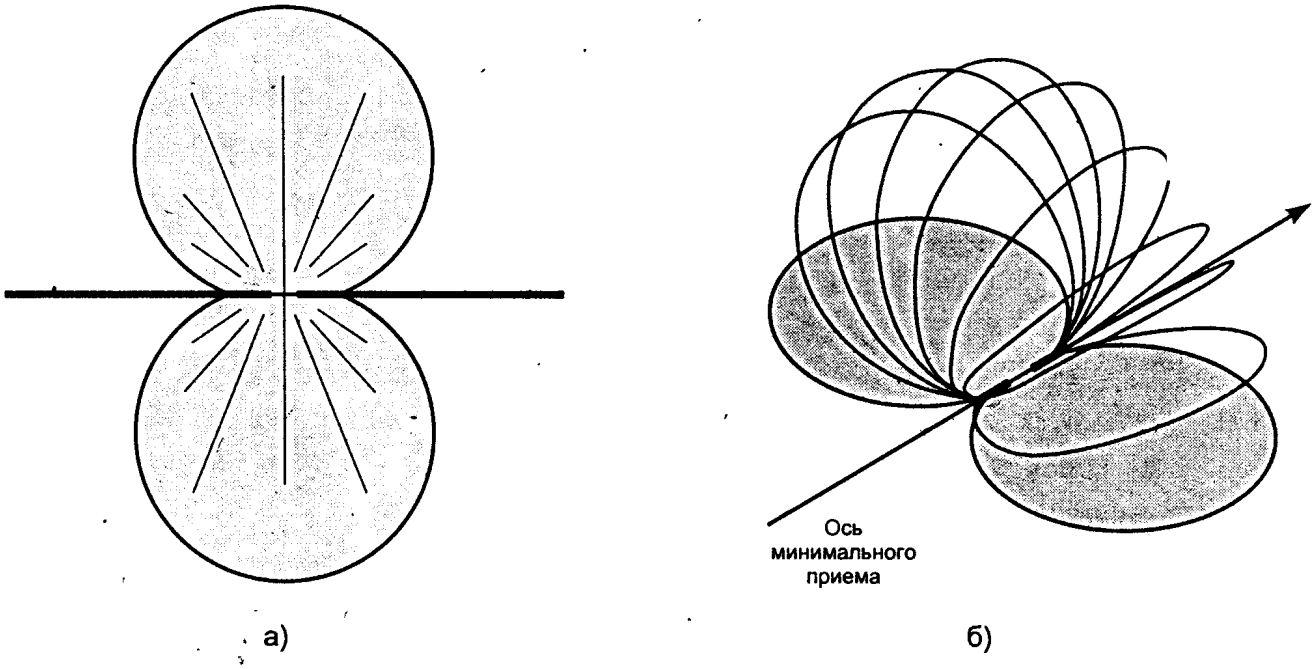


Рис. 10.22. Диаграмма направленности симметричного вибратора: *а* — на горизонтальной плоскости; *б* — в объеме на поверхности Земли

Другая — тоже часто встречающаяся разновидность антенны — **несимметричный вибратор**, рис. 10.23. Рисунок дает общее представление, так сказать, идею антенны. Основные электрические характеристики несимметричного вибратора в значительной степени зависят от конкретной конструкции. О не-

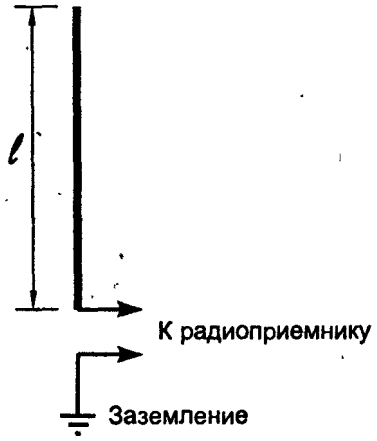


Рис. 10.23. Несимметричный вибратор

которых из них мы поговорим чуть позже, а сейчас обсудим новый термин, появившийся в нашем рассказе, — **заземление**.

Для появления в цепи электрического тока, необходимо, чтобы цепь замкнулась. В симметричном вибраторе она замыкается электромагнитной волной между плечами антенны. А вот в несимметричном вибраторе мы имеем только одно плечо. Где же другое? А другим плечом может с успехом служить... поверхность Земли! Мы уже знаем, что земная поверхность имеет свойство проводить электрический ток, так как в ее составе есть ионы солей, металлы, вода. Конечно, электропроводность почвы намного хуже электропроводности металлов, но ее вполне достаточно для организации второго плеча антенны, предназначенной для приема радиовещательных станций. Почти даром нам удастся вдвое сократить длину диполя!

Если читатель живет в загородном доме, ему не составит большого труда изготовить хорошее заземление. Делается это очень просто: берется ненужное металлическое изделие с большой площадью поверхности, например корыто. К изделию прикручивается болтом или припаивается проводник (например, экранная оплетка от отслужившего свой срок телевизионного кабеля). Затем изделие закапывается на глубину примерно 1 м. Перед тем как закопать корыто, лучше посыпать его поваренной солью и древесным углем (из печки) для улучшения электропроводности (рис. 10.24, *а*).

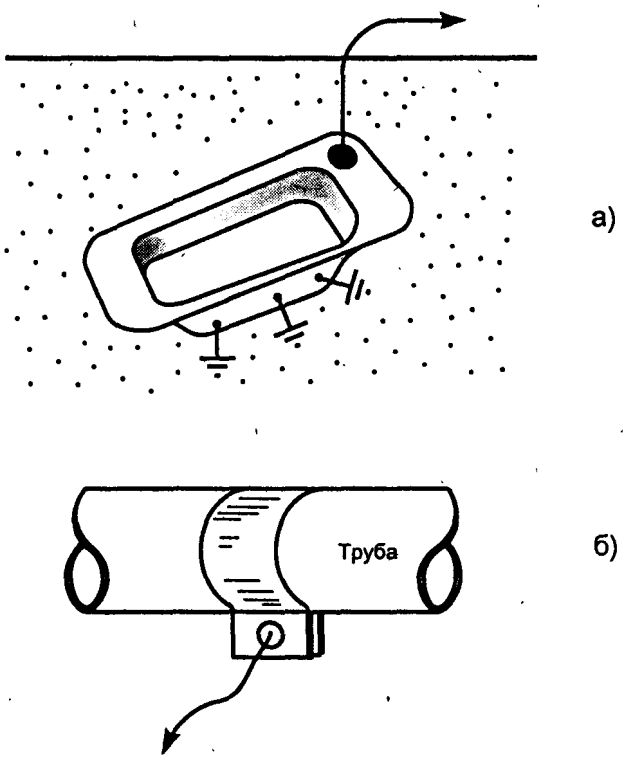


Рис. 10.24. Заземление радиоприемника:
***а* — в загородном доме;**
***б* — в городской квартире**

Если же читатель живет в городской квартире, да еще и на одном из последних этажей высотного дома, то тащить провод заземления в квартиру будет сложно. Мало того, прилегающая территория может быть просто заасфальтированной. Но не огорчайтесь, вы не останетесь в стороне от радиоприема на несимметричный вибратор, хотя ситуация с заземлением в городской квартире сложнее. Вот что пишет в отношении заземления известный уже нам В. Т. Поляков [9]: «Неплохим заземлением служат трубы центрального отопления. Они хоть и изолированы, но в современных многоквартирных домах электрически соединяются с общим контуром заземления дома. В любом случае разветвленная тепловая сеть служит отличным противовесом антенне. К газовым трубам подключаться запрещается».

По существующим нормам техники безопасности использование труб центрального отопления в качестве заземлителей вообще-то недопустимо. И вот почему. Все соединения труб выполняются не сваркой, а разъемными, к тому же, если неожиданно кто-то начнет менять у себя в квартире батарею, электрический контакт точно нарушится. Мы намереваемся использовать заземление не в качестве защитной меры, предотвращающей от поражения электрическим током, а для приема. Поэтому наиболее близким вариантом, рекомендуемым радиолюбителям, следует считать металлическую канализационную трубу. Она выполняется сварной, и, даже если не будет контачить с землей, все равно ее протяженности будет достаточно. Нужно зачистить трубу до металла с помощью наждачной бумаги в месте подключения, убрав краску и окислы. Затем можно надеть на зачищенное место металлический хомут, изготовленный самостоятельно из металлической полоски или приобретенный в автомагазине (такие хомуты используются для крепления шлангов). Теперь трубу и хомут можно покрасить, оставив незащищенным только место, куда будет крепиться проводник (рис. 10.24, *б*).

Наиболее искушенные читатели могут вспомнить, что нулевой проводник в подавляющем большинстве трехфазных систем питания обычно заземляется, а сама система получает название системы с **глухозаземленной нейтралью**. Один из проводов в электрической розетке теоретически может стать заземлением для приемника. Но только теоретически! Авторы настоятельно не рекомендуют пользоваться этим способом, так как, во-первых, это запрещено действующими правилами техники безопасности, во-вторых, при неумелых действиях и по забывчивости можно подключиться не к «нулю», а к «фазе», получить удар током, а в-третьих, на нулевой провод наводятся помехи с фазных проводов, и из-за этого прием станет просто невозможным. Пользуйтесь вышеназванными двумя способами! Как показывает практика, хорошее заземление может улучшить помехозащищенность радиовещательного приемника.

Но вернемся к приемным антеннам. В диапазонах ДВ, СВ и КВ наиболее предпочтительно использовать наружные несимметричные вибраторы Г-типа и Т-типа, показанные на рис. 10.25. Конечно, по сравнению с длиной волны они имеют небольшие размеры, но это — лучший вариант для радиолюбителя. Антенна подвешивается на двух мачтах как можно выше от земли (желательно на высоте 10—15 м). Прием ведется на отрезок вертикального провода. Действующая высота такой антенны приблизительно равна:

$$h_д \approx h,$$

то есть высоте вертикального проводника. Зачем нужен горизонтальный проводник? Вместе с земной поверхностью он образует конденсатор, который и перезаряжает электромагнитная волна. Мы знаем, что чем больше емкость конденсатора, тем меньше его реактивное сопротивление, тем больше ток в цепи и тем больше напряжение, отдаваемое антенной в нагрузку. Казалось бы, чем длиннее этот проводник, тем эффективнее будет осуществляться прием. Но на самом деле это не так. Горизонтальный проводник нет смысла делать длиннее 30 м, так как часть емкости, образуемая удаленными концами, будет настолько незначительной, что ее вклад практически не ощущается.

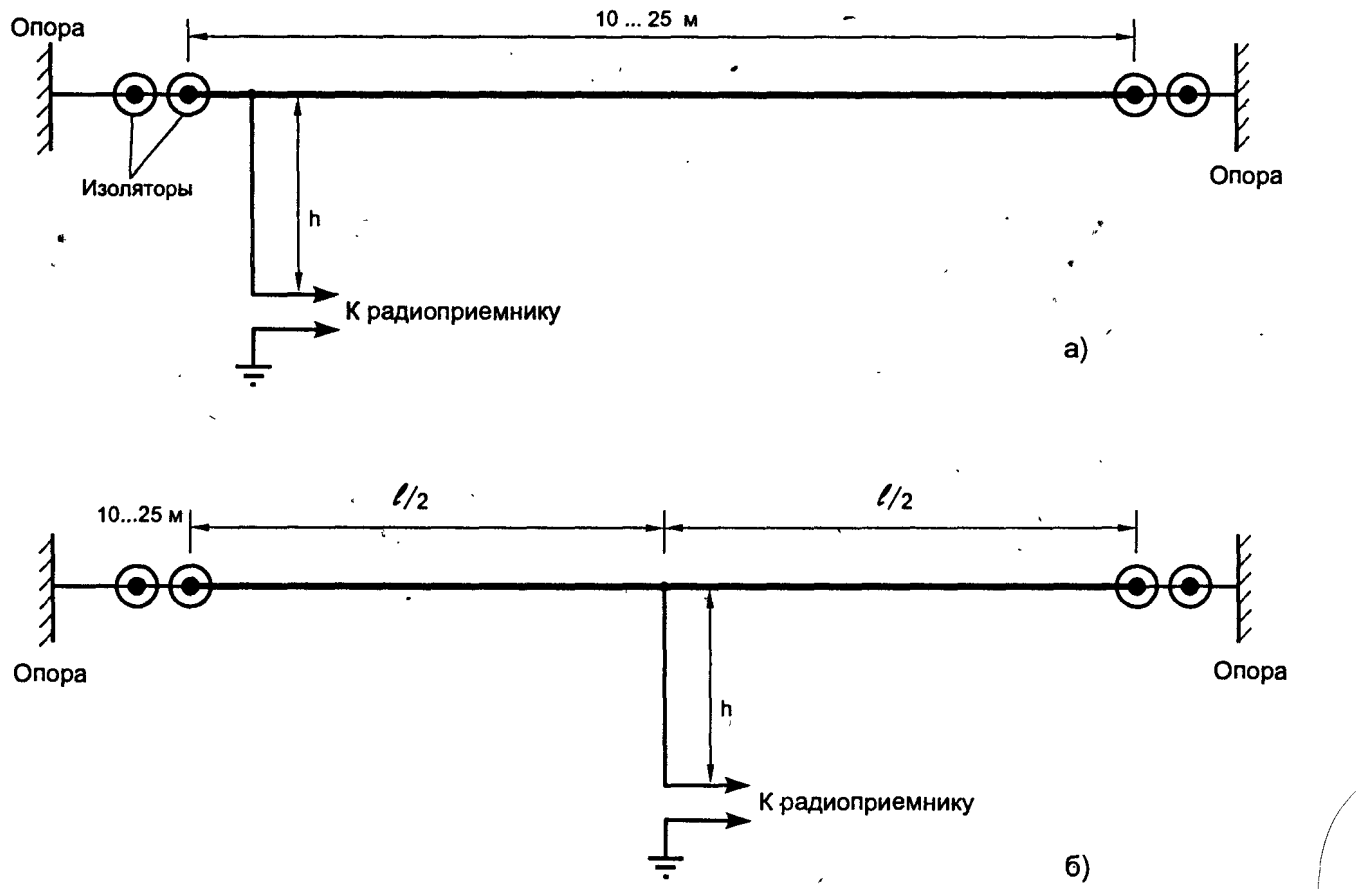


Рис. 10.25. Распространенные антенны: *а* — Г-образная антенна; *б* — Т-образная антенна

Обе разновидности антенн относятся к типу ненаправленных. Т-образная антенна вообще обладает круговой диаграммой направленности, а Г-образная имеет слабовыраженный максимум со стороны вертикального проводника — **снижения**.

Советы по изготовлению Т-образных и Г-образных наружных антенн мы здесь не приводим — все определяется конкретными условиями и возможностями читателя. Но два обязательных совета все же дадим. Во-первых, горизонтальный — «емкостный» — проводник нужно хорошенько изолировать от мачт (опор), чтобы не возникали токи утечки. Сделать это можно с помощью фарфоровых изоляторов, продающихся в магазинах электротоваров для выполнения открытой проводки. Можно также использовать материал, слабо восприимчивый к влажности, например толстое оргстекло, просверлив в пластинке два отверстия — для проводника и для растяжки. Желательно также сделать по две изолированные вставки с каждой стороны, как показано на рисунках.

Второй совет касается техники безопасности. Помните судьбу Рихмана, сподвижника Ломоносова? Во время грозы в наружную антенну может ударить молния — источник пожара. Поэтому при приближении грозы нужно замкнуть провода заземления и снижения. Сделать это элементарно просто — достаточно установить в удобном месте переключатель или, что даже лучше, разрядник (так называют специальный элемент, который обладает способностью при повышении на нем напряжения выше определенного уровня закорачивать цепь).

Если по каким-либо причинам установить описанные выше антенны не удалось, можно воспользоваться несколько худшим вариантом — изготовить **метелочную** антенну (рис. 10.26, *а*). Роль емкостной обкладки здесь выполняет пучок тонких проводников длиной примерно 0,5 м, закрепленных на верхушке мачты. Естественно, «метелка» должна быть связана со снижением электрически.

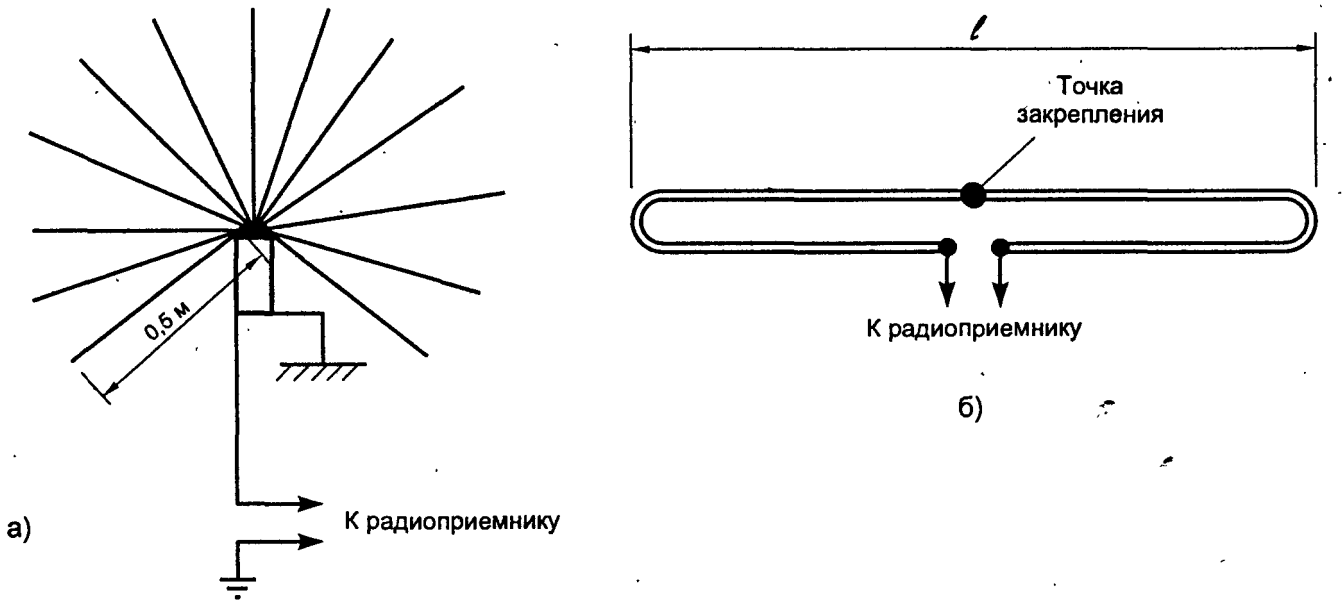


Рис. 10.26. Варианты антенн: *а* — метелочная; *б* — петлевой вибратор

Городские условия, увы, намного стесненнее сельских в плане развертывания эффективных антенн. Скорее всего, горожанам придется воспользоваться **комнатной антенной** Т-образного и Г-образного типа. Длина снижения таких антенн составляет примерно 1,5...2 м, а «емкостная» часть, располагаемая под потолком, — 4—6 м. Действующая высота комнатных антенн приближенно равна:

$$h_д \approx \frac{h}{2}.$$

Не так давно комнатные антенны такого типа можно было купить в радиомагазинах. Они представляли собой медный одножильный провод без изоляции, навитый в виде пружинки с диаметром 7—10 мм. Протянув под потолком суровую нитку или леску, антенну растягивали на ней из одного угла комнаты к другому, затем изготавливали снижение. Комнатной антенне не нужна грозозащита!

Сейчас такую антенну купить едва ли возможно, поэтому, если у читателя хватит терпения, можно навить ее из трансформаторной проволоки. А можно и, не мудрствуя лукаво, натянуть кусок провода без навивки.

Еще один тип вибратора, который используется преимущественно в диапазоне УКВ, — **петлевой вибратор** (рис. 10.26, *б*). Он часто изготавливается из трубочек небольшого диаметра (5—10 мм). Длина вибратора (*l*) выбирается равной половине средней длины волны УКВ диапазона (λ). Между торцами тру-

бок, в месте подключения фидера, нужно оставить зазор 50—70 мм. Для такой антенны действующая высота равна:

$$h_д = \frac{2\lambda}{\pi},$$

то есть в два раза больше, чем действующая высота полуволнового вибратора. Однако ее внутреннее сопротивление равно 292 Ома. Важно также отметить, что радиостанции диапазонов OIRT и CCIR излучают по-разному поляризованные волны. Так что при установке антенны необходимо добиться максимального уровня сигнала, вращая ее не только в горизонтальной плоскости, но также и в вертикальной. Закрепить петлевой вибратор можно в «точке», показанной на рис. 10,26. Причем закрепить вибратор можно в этом месте даже к металлической несущей конструкции, так как потенциал точки закрепления — нулевой.

А теперь, завершая рассказ о петлевом вибраторе, покажем, как с помощью очень простых способов можно повысить действующую высоту этой антенны и придать ей более острый вид диаграммы направленности. В 1924 г. **Хидецугу Яги** (1886—1976), профессор Токийского инженерного колледжа при Императорском университете, вместе со своими ассистентами **Уда** и **Окабе** впервые практически реализовал идею использования пассивных элементов для создания эффективной направленной антенны. С того времени термины «яги» или «яги-уда» стали нарицательными для обозначения многоэлементных направленных антенн.

Что же представляет собой антенна «яги-уда»? В отечественной литературе ее называют чаще антенной типа «волновой канал». Этот вид коллективных телеантенн можно видеть на любой крыше многоквартирного дома. Взгляните на рис. 10.27. Знакомый нам петлевой вибратор с одной стороны «перегорожен» множеством **директоров** — горизонтальных линеек, а с другой имеется **рефлектор**. Если по определенному правилу рассчитать длину этих элементов и расположить их на соответствующих расстояниях, то антенна приобретает замечательные свойства, описываемые выше, — становится направленной и развивает большее значение ЭДС на выходе. Увеличивая количество директоров, можно повысить направленность и увеличить ЭДС. Основной вклад в этой антенне вносят директоры, располагаемые близко от вибратора, с увеличением расстояния их вклад уменьшается. Но тем не менее иногда количество директоров наращивают до 30 и более!

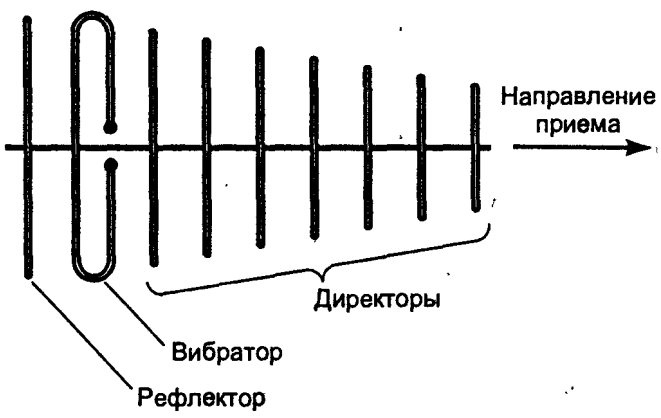


Рис. 10.27. Антенна «яги-уда» (волновой канал)

Антенна «уда-яги» подходит для так называемого «дальнего приема» УКВ сигналов, но изготавливать ее начинающему радиолюбителю не рекомендуется. Причин несколько. Во-первых, для приема УКВ радиовещательных станций

размеры антенны получаются внушительными, так что не всякий сможет сделать ее самостоятельно из подручных материалов. И во-вторых, что самое главное, эта антенна требует **настройки**. Необходимо с помощью специальных приборов подобрать (впрочем, в небольших пределах) расстояние между директорами и их длину, что может быть выполнено только людьми с высокой степенью квалификации и большим опытом. Ненастроенная антенна может работать намного хуже настроенной.

В заключение главы об антеннах поговорим о так называемых **встроенных антеннах**, которые хочется назвать — «антенны, которые всегда с тобой». Классикой в ДВ и СВ диапазонах уже давно стали **магнитные антенны**. Называются они так потому, что для приема используется магнитная составляющая электромагнитной волны. Магнитная антенна — стержень из специального материала, напоминающего свойствами железо, — из **феррита**. Стержень бывает круглым или прямоугольным. На него намотана обмотка из провода, представляющая собой катушку индуктивности, рис. 10.28. Диаграмма направленности магнитной антенны показана на рис. 10.29. Она имеет знакомый нам вид, подобный диаграмме направленности симметричного диполя. Всем хорошо знакомо, что портативный приемник всегда нужно поворачивать, добиваясь максимума сигнала. А стационарные ламповые приемники, которые невозможно повернуть,

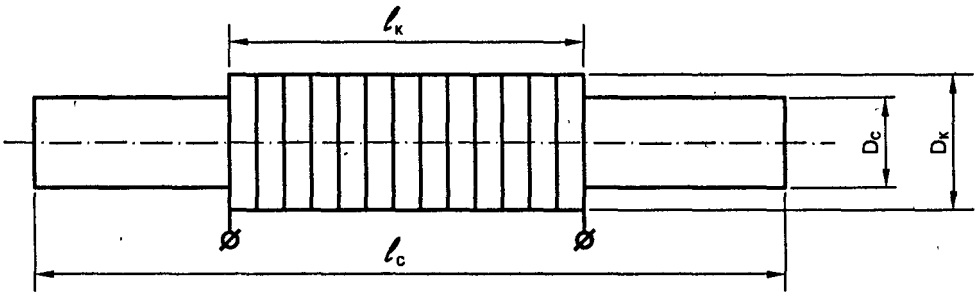


Рис. 10.28. Конструкция магнитной антенны

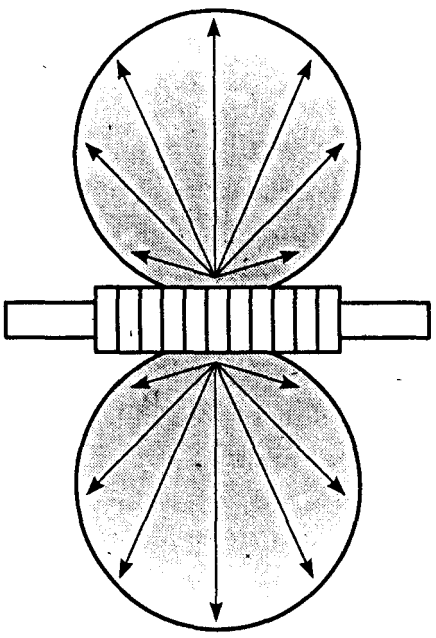


Рис. 10.29. Диаграмма направленности магнитной антенны на плоскости (в объеме вид аналогичен показанному на рис. 10.22, *б*)

предусматривали в конструкции поворотную магнитную антенну, управляемую при помощи сложной системы шкивов, роликов, шнурков и тяг.

Действующая высота магнитной антенны определяется из формулы:

$$h_д \approx 5\frac{D_k^2 \cdot w \cdot \mu}{\lambda},$$

где D_k^* — диаметр намотки;

w — число витков обмотки;

μ — магнитная проницаемость сердечника.

Расчеты показывают, что действующая высота собственно магнитной антенны мала — она составляет несколько миллиметров. Чтобы повысить ее до значения 1...2 м, параллельно катушке включают конденсатор переменной емкости и настраивают этот узел **в резонанс** с принимаемой волной. (О резонансе мы поговорим чуть позже.)

Часто встраивается в радиоприемник выдвижная **телескопическая** антенна. Она эффективна при приеме на КВ и УКВ-диапазонах, но в автомобильных приемниках используется во всем диапазоне принимаемых частот. Действующая высота телескопической антенны:

$$h_д = \frac{1}{2\pi} \cdot tg\frac{\pi \cdot l}{\lambda},$$

где l — длина телескопической антенны.

* * *

Вот и все разновидности антенн, на которых рекомендуем остановиться начинающему радиолюбителю. В профессиональной технике используются конструкции антенн намного сложнее. «Тарелки» спутникового телевидения — крохотные, едва видные штырьки на корпусах сотовых телефонов, вращающиеся «кубические сетки» радаров и локаторов, рупора СВЧ техники — все это мир антенн. ■

Немного об истории телевидения

Телевидение делает умных умнее, а глупых — глупее.

Немецкое изречение

Телевидение идет рука об руку с радиовещанием. О телевидении можно писать отдельную книгу — это целый мир с громадным количеством новых технических идей и принципов, интересных электронных схем. Но сегодняшнее телевидение — это не только, и не столько мир «инженеров железа», сколько мир «инженеров человеческих душ» — телеведущих, комментаторов, телерепортеров, музыкантов, актеров, рекламистов и журналистов. Представители этих профессий, ежедневно появляясь на экранах, имеют очень слабое представление о том, как возникает телевизионное изображение, почему оно

доходит до зрителей, откуда берется звук. Но им и не нужно знать о технических тонкостях! А радиолюбителям будет интересно узнать о принципах передачи изображения.

В школе на уроках рисования наверняка каждый учился копировать изображения «по клеточкам». Для этого картинка разлиновывалась на мелкие квадратики, и их содержимое переносилось в пустые ячейки с примерно таким же размером. Здесь и заключается основной принцип телевидения: разложить изображение на «клеточки», затем передать их содержимое на расстояние, а потом «собрать» опять в единую картинку. Именно такая система была предложена в 1875 г. американским изобретателем **Дж. Керном**. На передающей стороне устанавливалась пластинка с большим количеством миниатюрных селеновых фотосопротивлений, а на приемной — с лампочками. Каждая лампочка связывалась отдельным проводом с фотосопротивлением, что, конечно, выглядело очень громоздко и неудобно.

Примерно в это же время физиологами была обнаружена инерционность зрения человека, не воспринимающая быстрые мелькания света. Отталкиваясь от этого факта, русский студент (впоследствии известный физик и физиолог) **П. И. Бахметьев** в 1877 г. предложил одноканальный вариант идеи Кёрна. В варианте Бахметьева нужно последовательно снимать уровни сигналов с селеновых пластин, последовательно передавать эти уровни по одному проводу и последовательно же «собирать» изображение на приемной стороне. Этот вариант не нашел практического применения из-за чрезвычайно сложной реализации аппаратуры, построенной по механическому принципу.

Однако «механическое телевидение» еще долго будет оставаться единственным способом передачи движущихся изображений, постепенно совершенствуясь. В 1884 г. немец **П. Нипков** разработал простое оптико-механическое устройство для передачи изображения. Тогда же появилось понятие **развертки изображения**. Передатчик и приемник Нипкова были устроены примерно одинаково: внутри вращался диск с отверстиями. Отверстия располагались по спирали и «сбегали» к центру. Вращение диска в передатчике и приемнике синхронизировалось. Поочередно фокусируясь на фотосопротивлении, осуществлялось разложение изображения, последовательная передача его на приемник. В приемнике, поскольку диск занимал то же самое положение, лампочка передавала полутона изображения, подсвечиваясь или убавляя яркость.

Как утверждают исторические источники, система Нипкова была вполне работоспособной, развертывала изображение на 1200 элементов. Механическое телевидение дожило до 30-х гг. XX в. В это время в Москве даже проводились пробные телепередачи, которые желающие могли принимать на расстояниях сотен километров, поскольку вещание велось на длинных волнах. Впечатление первых телезрителей описывает В. Т. Поляков: «Вы с волнением прильнули глазом к окошечку-экрану. Сначала вы ничего не различаете, кроме мелькающих полос: это мотор еще не вошел в синхронизм. Затем движение полос замедляется, останавливается, и вы различаете какую-то смутную тень — человека! Он шагнул, поднял руку. Вы все видите. Это ли не чудо?».

Проблемы механического телевидения стали очевидны еще на заре его зарождения. И некоторые ученые стали искать другие пути. Среди них — **Борис Львович Розинг** (1869—1933). В 1897 г., познакомившись с преподавателем электротехники Константиновского училища, капитаном К. Д. Перским, Розинг заинтересовался проблемой передачи изображений и начал исследования. Он использовал в своих опытах трубку Брауна, больше известную нам сегодня как осциллографическая трубка. Опыты имели успех, и уже в 1902 г. Розинг смог управлять перемещением луча в трубке на расстоянии, вычерчивать простейшие фигуры — круг, стрелку, овал. В 1907 г. он подает заявку на патент, но чувствует, что почивать на лаврах рано: несовершенство электронного телевидения очевидно, требуется продолжать работу. «Эти результаты оказались настолько грубыми, — пишет Розинг после получения патента, — что я решил вновь подвергнуть переработке все части прибора».

К 1928 г. Б. Л. Розингу удалось достигнуть четкости изображения на экране трубки в 48 строк. Как утверждают очевидцы, изображения на экране получались настолько четкими и яркими, что их можно было фотографировать. В конце жизненного пути Розинг активно выступал за разворачивание широких исследований в области электронного телевидения, доказывая бесперспективность любых механических систем.

Первая электронная передающая трубка была разработана в 1931 г. советским ученым **С. И. Катаевым**, в этом же году, независимо от Катаева, такую трубку создал американец русского происхождения **Владимир Козьмич Зворыкин**, ученик Розинга. Интересна судьба Зворыкина, родившегося в г. Муроме, в купеческой семье, учившегося в Петербургском технологическом институте и в 1919 г. волею судеб оказавшегося в США. Сам Владимир Козьмич так писал о деле своей жизни: «Когда я был студентом, я учился у профессора физики Б. Розинга, очень интересовался его работами и просил разрешения помочь ему. В это время я полностью понял недостатки механического телевидения и необходимость применения электронных схем». В 1930 г. Зворыкин был назначен директором лаборатории в компании «Радиокорпорация Америки» (RCA) и занялся разработкой одной из первых серьезных систем американского телевидения. Разработанная система вела прямые трансляции с Олимпийских игр, проходивших в Берлине в 1936 г.

В. К. Зворыкин

А что происходило у нас в стране? В том же 1936 году **П. В. Тимофееву** и **П. В. Шмакову** выдается авторское свидетельство на новый вид передающей электронно-лучевой трубки **с переносом изображения**. Начинается эксплуатация первых телевизионных центров в Москве и Ленинграде. Московский передающий центр «раскладывал» изображение на 343 строки, а Ленинградский — на 240 строк при смене 25 кадров в секунду. Первый телевизионный приемник,

как это принято считать, был не КВН-49, а ТК-1 с размером экрана 14 × 18 см. Он вышел в серийное производство в 1938 г.

Новый стандарт с разложением в 625 строк, использующийся и поныне, был принят у нас в стране в 1946 г. Стандарт значительно повысил качество изображения. Первые передачи цветного изображения состоялись в Ленинграде в 1960 г. К концу 1970-х гг. в стране работает уже более 1300 телестанций.

Сегодняшнее телевидение — цветное. В разных странах используются разные стандарты цветного телевещания, в нашей стране — «СЕКАМ-III». Стандарт, принятый в 1965 г. согласно соглашению между США и Францией, на сегодняшний день считается самым неудачным. Такой стандарт в мире практически никто не использует. Почему же СССР принял столь неудачное решение? Сыграли политические мотивы. Необходимо было что-то противопоставить США, в которых, как известно, используется другая система — PAL. В то время СССР «дружил» с Францией и принял их стандарт. ■

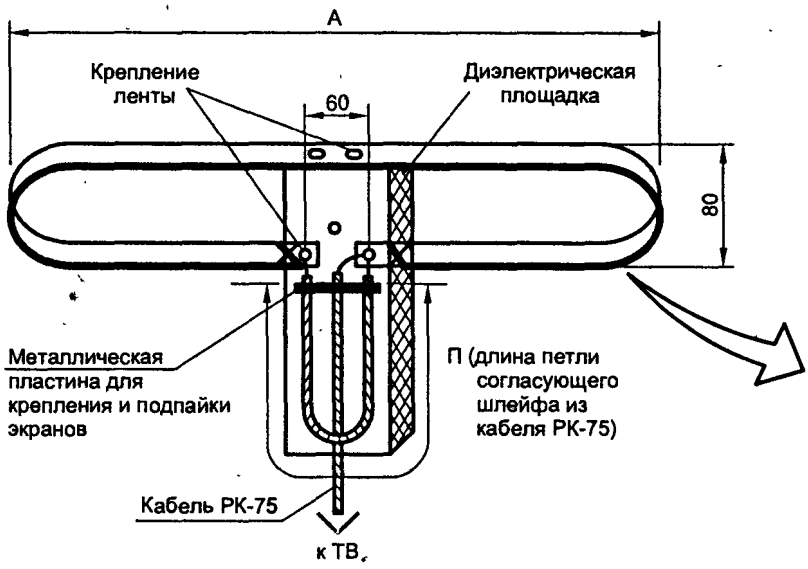
Простая телевизионная антенна для дачи

Как начинающему радиолюбителю практически прикоснуться к телевидению, изготовить что-то полезное своими собственными руками? Конструировать телевизионный приемник сложно даже для радиолюбителей с опытом, да и особого смысла в этом нет — имеющиеся в магазине модели удовлетворят все вкусы. А на дачный участок можно отвезти старый домашний телеприемник. Опыт показывает, часто «дачники» пытаются, не мудрствуя лукаво, включать в антенное гнездо кусочки проволочек, выводить их из садового домика наружу, развешивать подобно бельевой веревке. Пользы от такой антенны почти нет. Что же делать? Нужно установить направленную телеантенну.

Все правила устройства радиоприемных антенн «работают» и в случае антенн телевизионных: во-первых, изготовить саму антенну по определенным размерам, связанным с длиной принимаемой волны, во-вторых, надо согласовать антенну со входом телевизора, чтобы вся мощность принятого сигнала поступала по назначению, в-третьих, сориентировать ее на передающий центр максимумом диаграммы направленности — это увеличит уровень полезного сигнала и избавит от проникновения помех, приходящих с других направлений.

В принципе, есть вариант вообще не задумываться об этих вещах, а зайти в ближайший радиомагазин и купить готовую наружную антенну — как самую простую, типа диполя, так и «волновой канал» для очень тяжелых условий приема: Но радиолюбитель может решить эту задачу самостоятельно, выполнив антенну типа «петлевой вибратор».

На рис. 10.30 представлен чертеж такой антенны со всеми необходимыми данными для изготовления. Как мы уже знаем, простые антенны обычно широкополосны, так что для приема разных частот, лежащих в диапазонах 1—5 и 6—12 телевизионных каналов метровых волн потребуется только два независимых вибратора. Почему плохо получается принимать на одну простейшую антенну весь телевизионный диапазон? Все объясняется тем, что в выделенном для телевизионного вещания диапазоне частот между 5 и 6 каналами имеется



Канал	Частота МГц	А, мм	П, мм
1 – 5	49...100	1780	1230
6 – 12	175...227	645	470

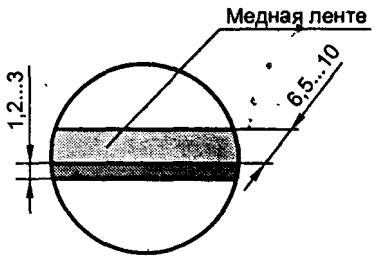


Рис. 10.30. Антенна типа петлевой вибратор для дачного участка

частотное окно в 75 МГц, что не позволяет настроить данный вариант антенны на оба диапазона одновременно.

Антенну легче всего изготовить из медной, латунной, алюминиевой ленты или ленты из другого цветного металла толщиной не менее 1 мм и шириной не менее 7 мм. Немного сложнее окажется изготовление антенны из профиля типа уголка П-образного, квадрата, трубки, так как гнуть профиль сложнее, чем ленту. Обычно профиль гнут при одновременном его нагревании над газом. Можно, конечно, изготовить антенну и из обычной конструкционной стали, но тогда она будет покрываться ржавчиной, из-за чего могут ухудшиться ее параметры. Места соединения антенны с фидером нужно изолировать от попадания влаги и возникновения электрохимической коррозии. Сделать это можно с помощью эпоксидных смол, например К-115. Еще один вариант — покрыть места сочленений лаком УР-231 в несколько слоев. Худшим, но допустимым вариантом можно считать термоусадочную трубку. После сборки антенну надо обезжирить ацетоном и хорошо (в несколько слоев) окрасить влагостойкой краской, например акриловой, продающейся в автомагазинах в баллончиках-распылителях.

Обратите внимание на устройство, называемое **согласующей петлей**. Если вы помните, петлевой вибратор обладает внутренним сопротивлением 292 Ом, в то время как входное сопротивление кабеля, называемое еще **волновым сопротивлением**, составляет 75 Ом. Кстати, в качестве кабеля, хорошо согласующегося со входом телевизора, рекомендуется применять имеющие внешний диаметр (по изоляции) по возможности больший. В этом случае потери высокочастотного сигнала (его ослабление) на пути от антенны до входа телевизора будут наименьшими. Например, отечественные кабели марок РК75-9-13, РК75-13-11 и многие другие. Согласующая петля выполняется из отрезка такого же кабеля с длиной, указанной в таблице на рис. 10.30.

Согласующая петля делается так. Предварительно снимается изоляция с обоих концов заготовки петли — так, чтобы были видны центральная жила и оплетка. Оплетка не должна соприкасаться с центральной жилой. То же самое выполняется и с одним концом фидера. Затем все оплетки соединяются вмес-

те, одна из центральных жил петли соединяется с центральной жилой фидера, а вторая центральная жила петли остается свободной. Место соединения трех экранов никуда не подключается! Таким образом, у нас теперь имеется два «конца». Один из них (две соединенные вместе центральные жилы) подключаем, например, к правому концу вибратора, второй — к левому. Закрепляем антенну на шесте и устанавливаем шест в вертикальное положение. Работа почти закончена, осталось направить антенну на телецентр.

Под рукой у нас, естественно, нет никаких измерительных приборов, кроме телевизора. Его мы и используем. Вращая шест с антенной вокруг своей оси, добиваемся наилучшего качества изображения. Если на экране возникнут контурные повторы изображения, связанные с неидеальностью согласования антенны и кабеля, а также из-за интерференции прямых и отраженных электромагнитных волн, можно их устранить небольшим дополнительным поворотом антенны (настройка проводится по минимуму помехи). ■

Интересные факты и цифры

Прошлое — лучший пророк для будущего.

Джордж Байрон

Радиосвязь в исследованиях...

Не секрет, что достижения в области радиосвязи активно используются для исследований деятельности живых организмов. Например, для обнаружения путей передвижения дельфинов японские ученые пользуются миниатюрными радиопередатчиками, закрепляемыми на теле животных. Информация о местоположении стаи дельфинов постоянно транслируется на орбитальные спутники, которые затем передают ее на Землю, в научный центр.

Другая интересная профессия современных радиопередающих средств — исследование работы человеческого организма, его «сбоев». Для этих целей специалистами английской фирмы «Remout control systems inc» разработана так называемая «радиопилюля». Миниатюрный радиопередатчик размером менее 1 см похож на обыкновенную таблетку и работает в диапазоне частот 390...470 кГц. Радиопилюля принимается внутрь, подобно лекарству, и передает информацию о внутренней температуре тела, кислотности и т. д. Радиопилюли сегодня успешно применяются в некоторых зарубежных клиниках для диагностики заболеваний человека. ■

Статистика телевидения

Насколько быстро распространяются полюбившиеся людям технические новинки, может свидетельствовать история развития телевидения. По состоянию на 1990 г., во всем мире в эксплуатации находилось до 1 млрд телевизионных приемников, то есть один телевизор могла смотреть семья из пяти человек.

В Советском Союзе в этом же году имелось порядка 100 млн телевизоров, и наша промышленность ежегодно производила еще 12—15 млн. Сегодня отечественные телевизоры производятся такими незначительными партиями, что даже сложно назвать объемы их выпуска. Рынок захвачен импортными фирмами — качество их техники значительно лучше. ■

Радиовещание и политика

Современное радиовещание — это не только информация, не только развлечение, но еще и мощный политический инструмент. Стоит хотя бы вспомнить недавние времена, когда приходилось слушать «Голос Америки», «Би-би-си», «Немецкую волну» сквозь рев глушилок! Один из первых шагов большевиков, как мы уже знаем, — организация массового радиовещания. Военные сводки Совинформбюро ежедневно доносили вести с фронтов Великой Отечественной войны. Да и недавняя попытка государственного переворота 1991 г. отразилась тревожной монотонной музыкой остановивших свою повседневную работу радиостанций. Очень показательный, но малоизвестный пример использования радио в качестве политического инструмента наблюдался в нацистской Германии. В 1933 г. звучал девиз нацистов: «Радио — в каждый дом», и летом того года 28 ведущих германских фирм в принудительном порядке начали создание очень простого, очень дешевого и очень надежного массового радиоприемника, рассчитанного на прием только местных радиостанций. Одновременно издается закон, согласно которому запрещалось прослушивать зарубежные станции, а нарушителям угрожало обвинение в измене родине.

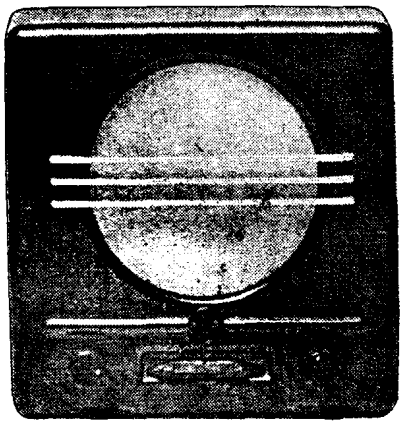


Рис. 10.31. «DKE» — Deutscher Kleinempfanger — массовый радиоприемник, разработанный в Германии (1938)

Такой приемник был создан в 1938 г. Его название — «DKE» — Deutscher Kleinempfanger. Выход приемника в массовое производство казался национал-социалистам столь значительным событием, что на презентацию разработанной модели приехал один из лидеров национал-социалистической партии, отвечавший за пропаганду в Третьем рейхе, — Йозеф Геббельс. Судя по фотографии того времени, Геббельс весьма придирчиво осматривал образец. Это и понятно — через репродуктор приемника он намеревался сеять и укреплять в умах сограждан свои идеи.

Число радиослушателей в Германии, имевших собственные приемники, с 1933 по 1943 г., возросло с 4 до 16 млн. ■

Останкинская башня в цифрах

Останкинская телебашня — всемирно известное сооружение. Рассказывать о нем в рамках данной книги нет необходимости. И все же невозможно обойти вниманием это чудо инженерно-строительной мысли и не сообщить читателям немного технических подробностей, которые появляются нечасто в средствах массовой информации.

Сегодня Останкинская башня ремонтируется после пожара, случившегося в августе 2000 г., меняется ее техническое оснащение. А до пожара на башне размещались: телевизионная станция, УКВ радиостанция массового вещания, станция радиотелефонной связи с подвижными объектами (пожарная служба, милиция, скорая помощь и др.), специальная лаборатория для исследования атмосферных грозовых явлений.

Высота башни составляет 540 м. Это вторая по высоте рукотворная конструкция в мире, оснащенная девятью лифтами, четыре из которых — высокоскоростные пассажирские, пять — грузовые. Лифты сконструированы для подъема на высоту 478 м. На башню также возможно подняться с помощью лестницы: наверх ведут 1706 ступенек.

Проект башни был утвержден 22 марта 1963 г.

Кстати, о высотных сооружениях. Самое высокое в мире сооружение, называемое CN Tower, располагается в г. Торонто (Канада). Высота башни 553 м, то есть всего на 13 м выше Останкинской телебашни. CN Tower открыта в 1976 г. Ее назначение тоже связано с радиосвязью. ■

«Средства связи США»

В конце 1960-х гг. в Советском Союзе прошла выставка «Средства связи США», вызвавшая ажиотаж наших сограждан. Большинство людей, как утверждают очевидцы, тянулись на выставку за невиданной тогда у нас кока-колой, за красочными буклетами, полиэтиленовыми мешочками и значками. Сохранился такой буклет и в семье одного из авторов этой книги. Вот небольшая выдержка из него, отражающая уровень развития радиовещания на тот момент.

«Радио в Соединенных Штатах Америки слушают свыше 99 процентов населения. Ассортимент продукции радиотехнических фирм необычайно разнообразен: от крупногабаритных многоламповых агрегатов до миниатюрных карманных приемников на полупроводниках. В 1933 г. для средней американской семьи покупка радиоприемника средней цены обходилась в 91 рабочий час, в настоящее время для этого достаточно шести рабочих часов.

В эфире работает 3757 станций АМ и 1092 станции ЧМ. Подавляющее большинство радиостанций принадлежит либо частным компаниям, либо колледжам и другим просветительским организациям. Для открытия радиостанции необходимо разрешение Федеральной комиссии связи. Существуют свои радиовещательные сети. Кроме четырех радиосетей, для всей страны имеется еще 180 районных: две или несколько станций объединяются в одну для лучшего обслуживания данного района.

Наличие большого количества станций обеспечивает американскому радиослушателю обширный выбор программ. По радио можно услышать все — от классической музыки до народных песен, джаза и блюза, от последних известий и прогноза погоды до драматических спектаклей, от обзора политических событий — с различных точек зрения — до спортивных соревнований.

Одно из последних достижений американской радиотехники — стереофонические передачи по станциям ЧМ. Радиоприемниками оснащены почти все автомобили. Моторист без радиоприемника — в США явление редкое. Некоторые автомобили оборудованы проигрывателями, магнитофонами или устройствами для приема звуковой части телепередач». ■

Аэростат — альтернатива башне?

Когда случился пожар на Останкинской башне, в Москве прервалось регулярное телевещание. По свидетельству очевидцев, в те дни, когда башня горела, резко возросла продажа газет и журналов. Многие издания, до того долго лежавшие на лотках торговцев прессой, были просто мгновенно раскуплены. Действительно, современный человек не может долго обходиться без информации, поэтому выход из строя телевидения в огромном городе показал, насколько отражается это на нашей жизни.

Интересно, что уже во время пожара специалисты вспомнили о давно забытой идее, появившейся на заре возникновения средств радиовещания и радиосвязи, в 1900-х гг. Идея, высказанная, кстати, А. С. Поповым, состояла в установке радиопередатчика на аэростате, который возможно было поднять на высоту 2—3 км, повысить дальность распространения радиоволн. Таким образом, на время выхода Останкинской башни из строя с аэростата можно было бы транслировать телесигнал.

Сегодня проблемами вещания с аэростатов занимается Русское воздухоплавательное общество совместно с российской Академией наук, создается система беспроводной аэростатной радиосети (БАРС). Но почему настолько опоздала реализация этой идеи? Дело в том, что в предвоенные, военные и послевоенные годы поднимать аппаратуру с гигантскими источниками электропитания на аэростате оказалось слишком сложной задачей. Сложными оказались и проблемы передачи питания с земли, размещения на аэростатах передающих антенн.

Отечественная история насчитывает единичные случаи использования аэростатов для трансляции радиосигнала. Один такой уникальный случай — передача легендарной VI симфонии Д. Д. Шостаковича, премьера которой состоялась в блокадном Ленинграде. В последующие годы военные связисты иногда поднимали на небольшую высоту свои радиостанции.

Эра спутниковой радиосвязи разом решила проблемы уверенной передачи радиосигнала на большие расстояния. Однако представьте себе, сколько стоит вывод на орбиту хотя бы одного спутника? Или строительство высокой башни? Если потребителя интересует связь на расстоянии не более 200...300 км, спутники здесь вообще окажутся слишком расточительными, а башни — недостаточно высокими. Эти мысли посетили разработчиков электронной техники связи в 60-х гг. XX в. Тогда они вспомнили об аэростатах. В 1963 г. в СССР велись разработки **аэростатной радиотрансляционной станции**, состоящей из огромного аэростата объемом 220 тысяч м^3 и специальной системы позиционирования — привязных тросов. Аэростат планировалось разместить на высоте 9 км, а аппаратуру питать от бортовой электростанции. Проект так и остался проектом...

Намного дальше продвинулись в области аэростатной связи инженеры из США. В середине 60-х гг. XX в. было создано специализированное государственное учреждение «Tethered communications» (TCOM), которым преследовалась задача обеспечения телефонной связью труднодоступных районов страны и близлежащих государств. Инженеры TCOM разработали привязной аэростат объемом 14 тысяч м^3 и необходимую связную аппаратуру. Аэростат работал с 2700 абонентами и ретранслировал радиосигнал. Оказалось, что расходы на эксплуатацию такой системы связи более чем в 2 раза уменьшились по сравнению с расходами на обслуживание классических наземных линий связи.

Еще один проект, разрабатывавшийся специалистами NASA по заказу военно-воздушных сил США в 70-х гг. XX в., но не нашедший практической реализации, поражает масштабностью и смелостью технических решений. Поскольку на высоте 20—25 км скорость ветра значительно меньше, чем в более низких слоях атмосферы, предполагалось вывести на эту высоту принципиально новый аэростат объемом 500 тысяч м^3 без привязного троса. Благодаря современной навигационной системе, связанной со специальными двигателями, аэростат мог бы «зависнуть» в определенной точке пространства. Питание аппаратуры навигационной системы осуществлялось от неиссякаемого источника энергии — солнечных батарей. Днем вырабатываемое электричество могло бы разлагать воду на водород и кислород, а ночью — гореть в двигателе, пополняя запасы воды на борту. Проект, однако, оказался «не по зубам», и в начале 1990-х гг. его просто закрыли.

Но будьте уверены на все сто процентов: аэростаты еще скажут свое веское слово в технике радиосвязи! ■

Радиолюбительство в 20-х гг. XX века

Сегодня, в XXI в., радиолюбители не страдают от отсутствия компонентов, разве что с трудом покупаются очень уж экзотические радиодетали. А в первой половине XX в., когда увлечение радиотехникой только-только стало входить в моду, все было

совершенно иначе. Об изготовлении чрезвычайно популярного в те годы приемника Шапошникова вспоминает Александр Ашкинази: «Для радиолюбителей в продаже почти ничего не было, радиоприемники делали сами. Клеили картонный цилиндр, на него с отводами наматывался так называемый звонковый провод. Цилиндр устанавливался на деревянной доске, по окружности вбивались обойные гвозди с латунными головками, к ним подходили эти отводы. Там, где был центр окружности, устанавливались ось и медная пластинка, которая скользила по головкам гвоздей.

Конденсаторы тоже делали сами. Покупали в аптеке парафиновую бумагу. Откуда бралась фольга, не помню, потому что на конфеты у нас денег не было.

В качестве детектора использовался гален, PbS, причем радиолюбители делали его сами. Надо было найти кусок кабеля, содрать оболочку, выпросить в аптеке кусок серы, расплавить в консервной банке или ложке свинец вместе с серой. Запах был соответствующий. То, что получалось, разламывали и вытаскивали кристаллики PbS. Такое было полупроводниковое производство.

В магазинах появился антенный канатик — медный многожильный провод для антенн. Мы добывали деревянные бруски, лезли на крышу. К другому дому на расстоянии около 100 м натягивался провод. Так что было важно, где живут приятели.

Что можно было принимать? Ну, во-первых, морзянку на всех диапазонах. Кто ее изучил, мог кое-что и схватить. Телефоном регулярно принимали, например Давентри. Эта станция музыку почти не передавала, так что она пользовалась успехом только в том смысле, что приятно было сказать — я принимаю Англию. Много музыки передавало «Радио Вены». Кроме Вены и Англии, мы слышали Германию.

Делали и кристадины Лосева. Они работали, но настроить их было трудно, надо было искать точку на кристалле. Позже появились радиолампы». ■

Магия радиолампы

Хорошая электронная техника оставляет в памяти неизгладимые впечатления у любого человека, даже увлеченного совсем нетехническими проблемами. Вот отрывок из воспоминаний поэта **Иосифа Бродского**, лауреата Нобелевской премии по литературе:

«...Каждый из наших отцов хранил какую-нибудь мелочь в память о войне. Когда мне было двенадцать лет, отец, к моему восторгу, неожиданно извлек откуда-то коротковолновый приемник. Приемник назывался «Филипс» и мог принимать радиостанции всего мира — от Копенгагена до Сурабаи. Во всяком случае на эту мысль наводили названия городов на его желтой шкале. По меркам того времени «Филипс» этот был вполне портативным: уютная коричневая вещь с похожим на кошачий, абсолютно завораживающим зеленым глазом индикатора настройки. Было в нем, если я правильно помню, всего шесть ламп, а в качестве антенны хватало простой проволоки — паутинообразного сооружения под потолком.

Этому коричневому лоснящемуся, как старый ботинок, «Филипсу» я обязан своими первыми познаниями в английском и знакомством с пантеоном джаза. К двенадцати годам немецкие названия в наших разговорах начали исчезать с наших уст, постепенно сменяясь именами Луиса Армстронга, Дюка Эллингтона, Эллы Фицджеральд.

Через шесть симметричных отверстий в задней стенке приемника, в тусклом свете мерцающих радиоламп, в лабиринте контактов, сопротивлений и катодов, столь же непонятных, как и языки, которые они порождали, я, казалось, различал Европу. Внутренности приемника всегда напоминали ночной город с раскиданными там и сям неоновыми огнями. И когда в тридцать два года я действительно приземлился в Вене, я сразу же ощутил, что в известной степени я с ней знаком. Скажу только, что, засыпая в свои первые венские ночи, я явственно чувствовал, что меня выключает некая невидимая рука — где-то в России.

Это был прочный аппарат. Когда однажды, в пароксизме гнева, вызванного моими бесконечными странствиями по радиоволнам, отец швырнул его на пол, пластмассовый ящик раскололся, но приемник продолжал работать. Не решаясь отнести его в радиомастерскую, я пытался как мог починить эту трещину с помощью клея и резиновых тесемок.

Конец ему пришел, когда стали сдавать лампы. Раз или два мне удалось отыскать через друзей и знакомых какие-то аналоги, но даже когда он окончательно онемел, он оставался в семье. В конце шестидесятых все покупали латвийскую «Спидолу» с ее телескопической антенной и всяческими транзисторами внутри. Конечно, прием был у нее лучше, и она была портативной. Но однажды в мастерской я увидел ее без задней крышки. Наиболее положительное, что я мог бы сказать о ее внутренностях, это что они напоминали географическую карту — шоссе, железные дороги, реки, притоки. Никакой конкретной местности они не напоминали...» ■

Основы современного радиоприема

Все к лучшему в этом лучшем из миров.

Вольтер

Прочитав эту главу, мы познакомились с историей радиосвязи и радиовещания, изготовили антенну. Самое время взяться за конструирование радиоприемника. Мы обязательно займемся этим интереснейшим делом в следующей главе. А сейчас познакомимся с такими важными в радиотехнике понятиями, как **модуляция**, **детектирование** и **колебательный контур**.

Вначале — о модуляции. Помните, даже Генрих Герц не верил, что с помощью высокочастотных радиоволн можно передавать низкочастотные сигналы — человеческую речь, музыку. Не верил Герц совершенно напрасно — сегодня радиоволны несут эту информацию. Где же в электромагнитной волне можно «спрятать» сигнал? Вспомните, что любой сигнал может характеризоваться амплитудой, частотой, фазой. Если при помощи специальных технических средств сделать так, что на передающей стороне станет возможным управлять этими параметрами генератора, создающего электромагнитную волну, то задача будет решена. Например, можно в такт с речевым сигналом менять **амплитуду** сигнала, можно — его **частоту**, а можно — **фазу**. Этот процесс называется **модуляцией**.

Исторически первой появилась **амплитудная модуляция** (АМ), рис. 10.32. Высокочастотный сигнал, формируемый генератором, называется **несущей**. Модулирующий сигнал накладывается на несущую и образуется АМ модулированное колебание, которое передается антенной в эфир. Все первые звуковые радиостанции работали в режиме АМ. Сегодня такая модуляция используется в радиовещании и радиосвязи в диапазонах ДВ, КВ, СВ.

АМ обладает рядом существенных недостатков, среди которых, во-первых, низкая помехозащищенность, а во-вторых, крайняя расточительность ресурсов. На передачу полезного сигнала при АМ расходуется в среднем только 4% мощности, остальная уходит на несущую. Изменение соотношения в сторону повышения доли полезного сигнала невозможно, так как это приводит к его искажениям.

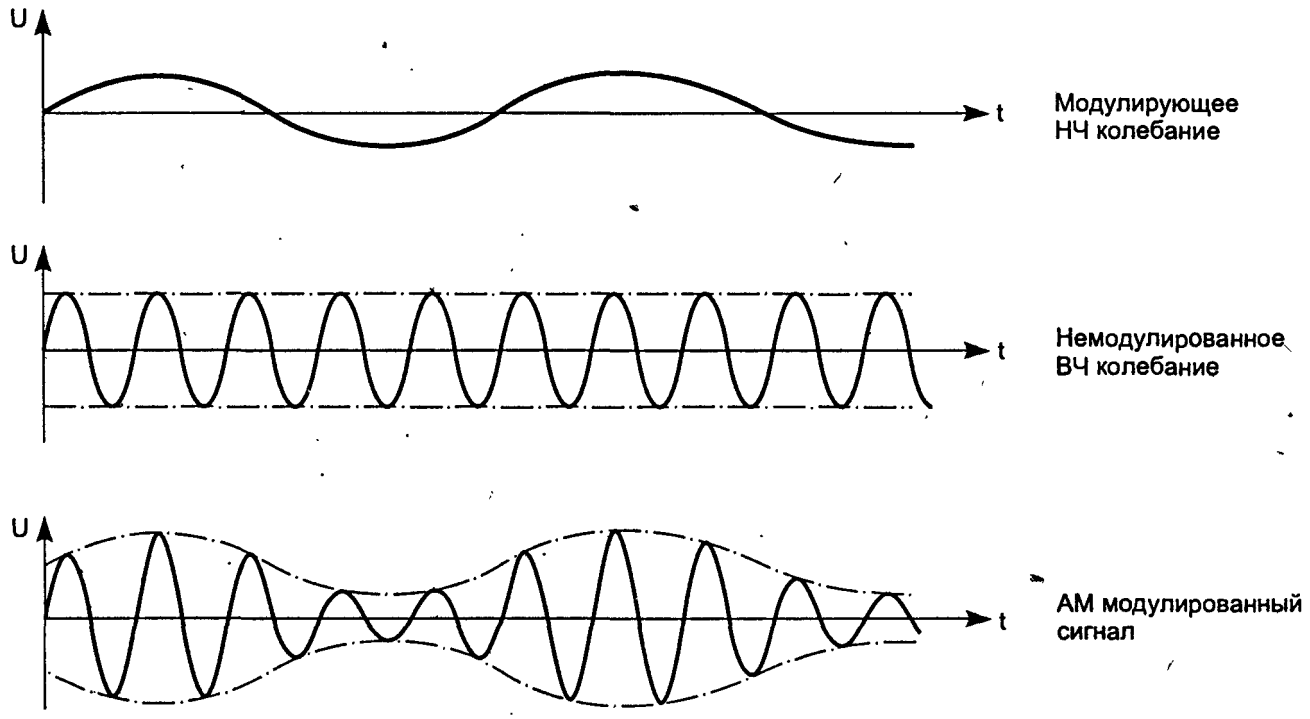


Рис. 10.32. Основы амплитудной модуляции (АМ)

Более прогрессивным видом модуляции, позволяющей получить высококачественное музыкальное вещание, является **частотная модуляция** (ЧМ), рис. 10.33. При частотной модуляции сохраняется постоянство амплитуды задающего генератора, а меняется только его частота. ЧМ сегодня используется на УКВ-диапазонах, где с ее помощью передается сигнал радиовещательных станций, а также звуковое сопровождение телевизионного сигнала.

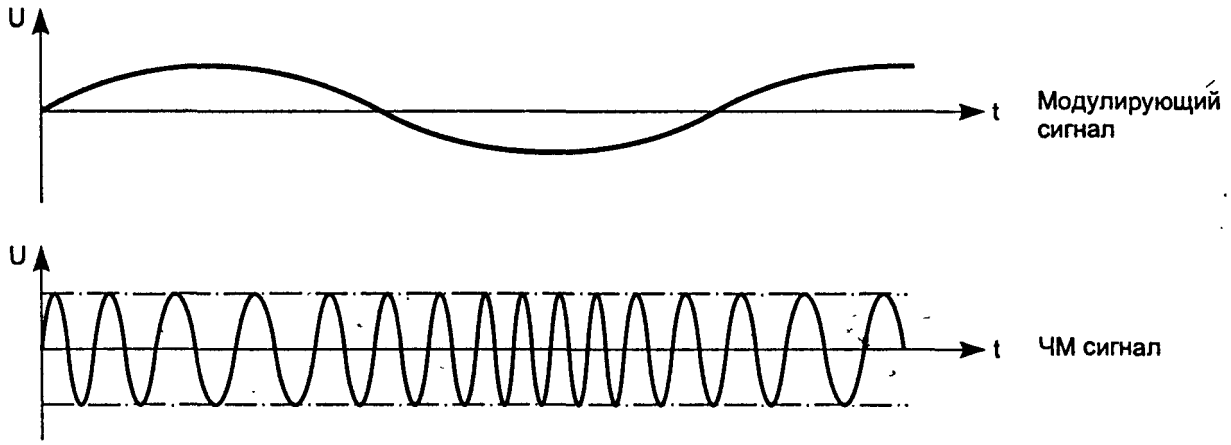


Рис. 10.33. Основы частотной модуляции (ЧМ)

Фазовая модуляция (ФМ) используется в основном в профессиональной радиосвязи, поэтому мы не будем рассматривать ее особенности — она несущественно отличается от ЧМ.

Чтобы преобразовать модулированное высокочастотное колебание в звуковое, нужно его **демодулировать**. Демодулировать АМ колебание очень просто — достаточно «отрезать» его отрицательные полупериоды, как показано на рис. 10.34. Сделать это можно с помощью простейшего **амплитудного детектора**,

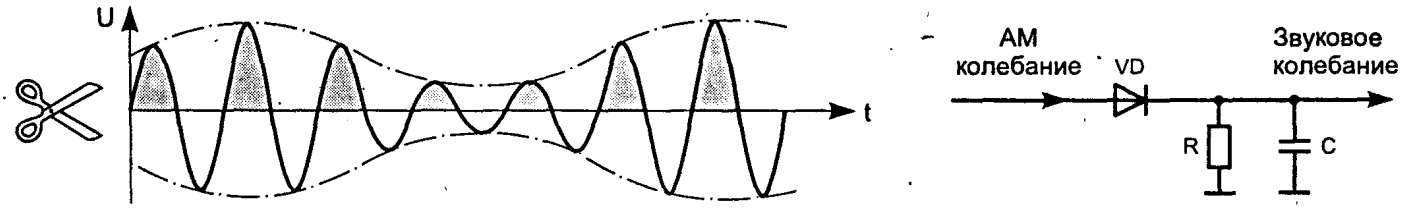


Рис. 10.34. Демодуляция АМ колебаний

изображенного на том же рисунке. В амплитудном детекторе диод VD выполняет роль «ножниц», отрезающих отрицательные полупериоды, а элементы RC выделяют **огибающую АМ колебания** — фильтруют высокую частоту и пропускают на выход детектора звуковое колебание.

Демодуляция ЧМ-колебания несколько сложнее. Чтобы услышать звук, нужно сначала ЧМ-колебание с помощью специальной схемы преобразовать в АМ колебание и уже после этого детектировать амплитудным детектором, описанным выше.

Вы хорошо знаете, что сегодня в эфире работает множество радиостанций. Но почему они не мешают друг другу? Потому что радиоприемник обладает свойством **селективности** — может выделять нужную частоту электромагнитной волны и отстраиваться от частот, мешающих в данный момент. Электротехническое устройство, обеспечивающее это свойство, называется **колебательным контуром**. Простейший колебательный контур состоит всего из двух элементов — катушки индуктивности и конденсатора. И тем не менее эта простая схема обладает массой замечательных свойств. Каких? Об этом мы сейчас поговорим.

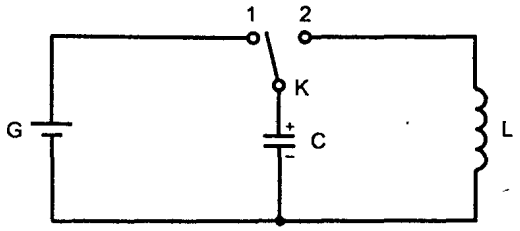


Рис. 10.35. Способ получения свободных колебаний в LC-контуре

В 1842 г. Джозеф Генри обнаружил колебательный характер разряда Лейденской банки. Этот год можно считать годом изобретения колебательного контура. Давайте мысленно повторим, правда, немного модернизировав, опыт Генри. Нам понадобится гальванический элемент, конденсатор, катушка индуктивности, конденсатор и переключатель на два положения. Соберем из этих нехитрых элементов схему, изображенную на рис. 10.35, и установим ключ К в положение «1». Конденсатор С начнет заряжаться от гальванического элемента G до разности потенциалов, равной по величине напряжению G. Затем переключим ключ К в положение «2». Конденсатор будет разряжаться через катушку индуктивности L. Характер этого разрядного процесса будет **колебательным**! Давайте разберемся почему.

Мы знаем, что конденсатор имеет свойство сохранять заряд в первый момент времени после переключения, так же как и индуктивность сохраняет значение тока. В первый момент вся энергия сосредоточена в конденсаторе (рис. 10.36, *а*). Далее она начинает «перетекать» в катушку индуктивности: напряжение на конденсаторе падает, а ток в катушке нарастает. В какой-то момент времени окажется, что напряжение на конденсаторе станет равным нулю, а в катушке ток достигнет максимума (рис. 10.36, *б*). **Электрическая энергия**

конденсатора превратилась в энергию магнитного поля катушки индуктивности! Потом ток начнет уменьшаться, но возникающая ЭДС самоиндукции стремится воспрепятствовать изменению тока. Поэтому ток в катушке имеет то же направление, но «заряжает» конденсатор в обратной полярности. При достижении током нулевого значения конденсатор приобретет максимальный заряд (рис. 10.36, *в*) и **энергия магнитного поля вновь превратится в электрическую!** Следующие два преобразования энергии (рис. 10.36, *г* и *а*) пройдут точно так же, за исключением своей «зеркальности» к первым двум.

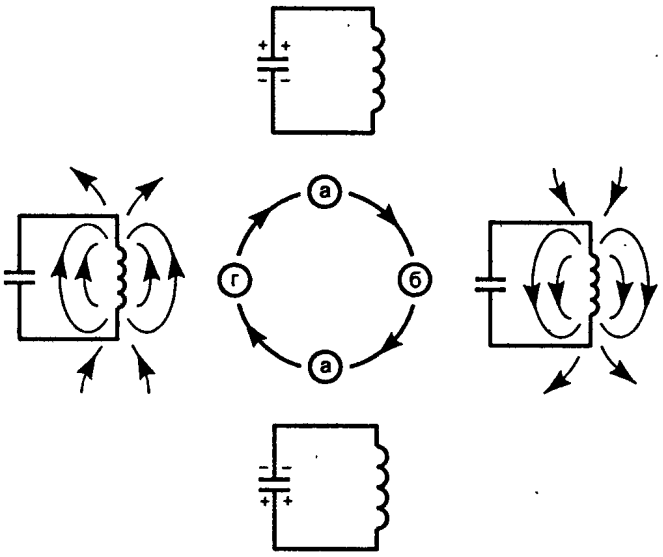


Рис. 10.36. Пояснение колебательного процесса в LC-контуре

Если взглянуть на рис. 10.37, отражающий значения напряжения на конденсаторе и тока в катушке индуктивности в любой момент времени, то окажется, что в контуре возникло синусоидальное колебание. Теоретически, однажды возникнув, колебание в контуре LC не должно **затухнуть**. Однако реальные контуры обладают **потерями**, среди которых — активное сопротивление проводника катушки индуктивности, токи утечки конденсатора и другие составляющие. Влияние потерь сказывается на том, что при взаимном «перетекании» энергии между катушкой индуктивности и конденсатором часть ее не доходит до «адресата», теряется по дороге. Чем больше потери, тем быстрее затухают колебания.

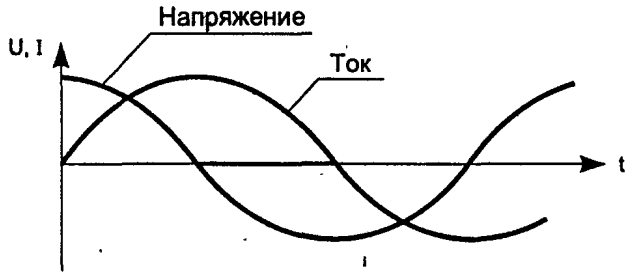


Рис. 10.37. Изменение тока и напряжения в колебательном контуре

Видели ли вы когда-нибудь, как проверяют в магазине целостность посуды? Очень просто — по ней тихонько ударяют деревянной палочкой. Посуда без трещин и внутренних дефектов издает красивый звон. А посуда с трещинами глухо «квакает». Объясняется этот способ просто — ровная, бездефектная структура обладает малыми потерями и колеблется долго. Структура же с неоднородностями в виде трещин, сколов мешает колебательным процессам. Точно так же ведет себя и колебательный контур.

У читателя может сложиться мнение, что контур с малыми потерями — хороший контур, а с высокими потерями — контур плохой. Мнение совершенно неправильное! Порой контур с высокими потерями обеспечивает нормальное функционирование прибора, а «звенящий» контур, установленный на то же место, до неузнаваемости нарушит работу. Иногда требуется совершенно конкретная величина потерь — не больше и не меньше. Чтобы как-то охарактеризовать эти потери, была введена важная характеристика контура — **добротность**. Высокодобротные контуры «звенят» долго, низкодобротные — мало.

Как вы думаете, можно ли определить частоту колебаний в контуре? Зависит ли она от номиналов емкости и индуктивности? Вне всякого сомнения — зависит, да еще как! Частота свободных колебаний в контуре без потерь (в Гц) определяется по формуле Томсона:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L — индуктивность катушки в генри (Гн);

C — емкость конденсатора в фарадах (Ф).

Частота колебаний в контуре с потерями немного отличается от частоты колебаний в контуре без потерь. Однако это различие столь незначительно, что на практике им просто пренебрегают.

Для расчетов более удобно пользоваться таким представлением этой формулы, которое позволяет получать значения частоты сразу в мегагерцах (МГц):

$$f = \frac{159}{\sqrt{LC}},$$

где L — индуктивность катушки в микрогенри (мкГн);

C — емкость конденсатора в пикофарадах (пФ).

Из этой формулы мы можем также определить, какие параметры индуктивности или емкости надо установить в контур, чтобы получить резонанс на нужной нам частоте:

$$L = \frac{25330}{f^2 \cdot C} \quad \text{и} \quad C = \frac{25330}{f^2 \cdot L},$$

где f — частота в мегагерцах (МГц);

L — индуктивность катушки в микрогенри (мкГн);

C — емкость конденсатора в пикофарадах (пФ).

Итак, мы рассмотрели **свободные колебания**, то есть такие, которые, возникнув, не поддерживаются более никакими способами. Существует также особый класс, называемый **вынужденными колебаниями**. Вынужденные колебания могут существовать даже в контуре с потерями бесконечно долго — важно лишь, чтобы их постоянно поддерживал внешний — вынуждающий — источник. Вынужденные колебания напрямую связаны с таким интересным явлением, как **резонанс**.

Явление механического резонанса знакомо многим. Если вы живете вблизи оживленной автомагистрали, то при прохождении мимо дома тяжеловесных автопоездов стекла в окнах вашей квартиры начинают звенеть. Причем звон усиливается с приближением автопоезда и ослабляется с его удалением. Легковые автомобили, как правило, не вызывают звона, отсутствует он и тогда, когда на дороге нет автомобилей. Почему? Оконное стекло, особенно плохо закрепленное в раме, является колебательной системой, то есть «звенит» на собственной частоте при ударе. Автомобильный двигатель, вращаясь на определенной частоте, создает колебания. При совпадении частоты колебаний двигателя и собственной частоты оконного стекла последнее начинает вибриро-

вать под действием **вынуждающих колебаний**. Амплитуда этих **вынужденных колебаний** тем больше, чем больше амплитуда вынуждающего колебания и чем выше добротность.

Точно так же возникают и **вынужденные электрические колебания** в колебательном контуре. Чтобы в полной мере ощутить природу этих колебаний, соберем схему, показанную на рис. 10.38. Генератор G создает синусоидальный сигнал, который можно перестраивать по частоте. Он соединен с контуром LC не непосредственно, а через катушку связи $L_{св}$, намотанную поверх основной катушки. В контур включены амперметр PA1 и вольтметр PV2, по которым мы будем наблюдать за током в катушке индуктивности и за напряжением на конденсаторе. При перестройке частоты генератора от низкого к высокому значению в какой-то момент мы увидим увеличение тока через индуктивность и возрастание напряжения на конденсаторе. Далее, перестраиваясь по частоте, мы можем найти максимум показаний приборов PA1 и PV2, и затем показания начнут падать. На какой частоте мы получили максимум? На **резонансной**! Резонансная частота контура при действии вынуждающих колебаний (рис. 10.39) совпадает с частотой свободных колебаний в нем и определяется по формуле Томсона.

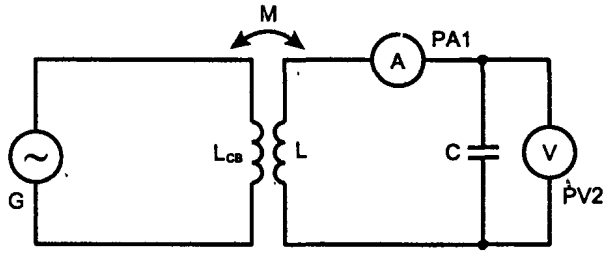


Рис. 10.38. Исследование вынужденных колебаний в LC-контуре

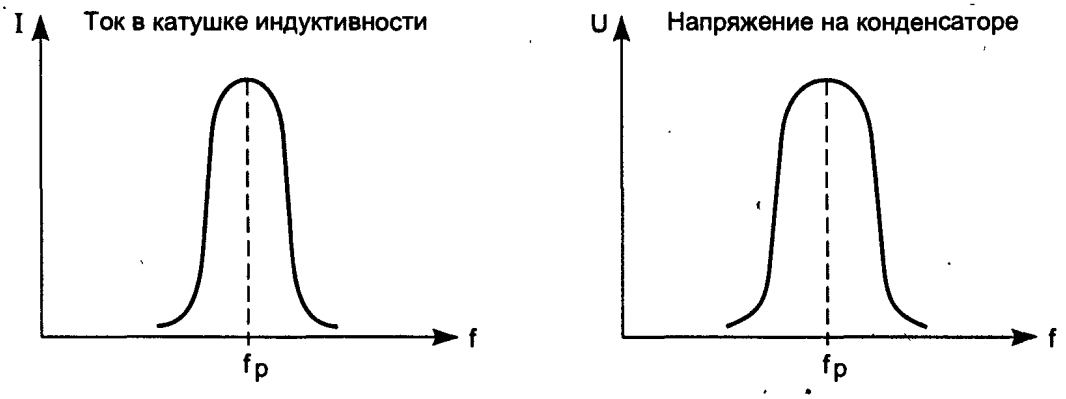


Рис. 10.39. Резонанс в колебательном контуре — результат вынужденных колебаний

Как мы уже говорили, добротность контура влияет на характер свободных колебаний. Оказывает она влияние и на вынужденные колебания (рис. 10.40). Чем выше добротность контура, тем большую амплитуду колебательного процесса мы сможем получить. Представьте, что в высокодобротных системах можно достигнуть увеличения электрических величин в сотни раз!

Теперь нам понятно, как обеспечивается селективность приемника. Колебательный контур, входящий в его состав, **настраивается** в резонанс с электромагнитной волной определенной частоты, а все побочные частоты, лежащие вне резонанса, контуром отсекаются.

В практических схемах используются два вида колебательных контуров: последовательные и параллельные. Вид контура определяется в зависимости от

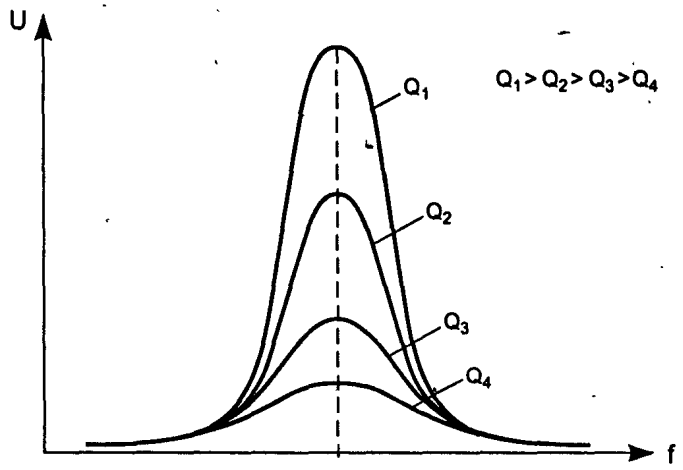


Рис. 10.40. Амплитуда электрических колебаний при резонансе в зависимости от величины добротности (Q) контура

того, как соединен генератор вынуждающих колебаний с катушкой индуктивности и конденсатором.

Последовательный колебательный контур представлен на рис. 10.41. Во время резонанса общее сопротивление цепи равно $R_{пот}$ — сопротивлению потерь контура. Реактивное сопротивление катушки индуктивности равно по величине и противоположно по знаку реактивному сопротивлению конденсатора, в результате чего они взаимоисключаются. Напряжение на конденсаторе в Q раз (значение добротности) больше напряжения генератора G. Ток, протекающий по цепи, максимален и равен:

$$i_p = \frac{U_{ген}}{R_{пот}}.$$

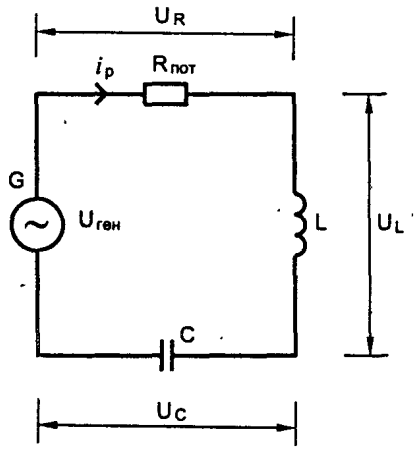


Рис. 10.41. Последовательный колебательный контур

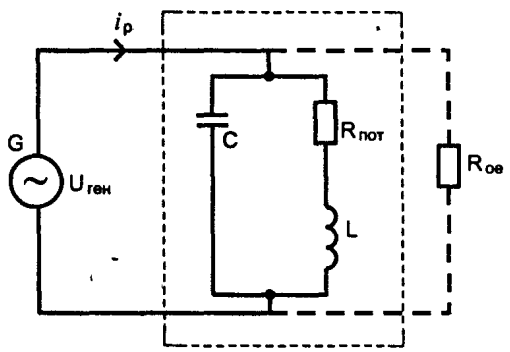


Рис. 10.42. Параллельный колебательный контур

Параллельный колебательный контур представлен на рис. 10.42. При резонансе общее сопротивление контура определяется из выражения:

$$R_{oe} = \frac{L}{C \cdot R_{пот}}.$$

Это сопротивление называют резонансным сопротивлением параллельного колебательного контура. Оно предс.авляет собой большую величину, так что ток во внешней цепи при резонансе мал и равен:

$$i_p = \frac{U_{ген}}{R_{oe}}.$$

А ток внутри колебательного контура в Q раз больше тока во внешней цепи.

Резонансная частота последовательного и параллельного колебательных контуров вычисляется по формуле Томсона.

* * *

Вот мы и подошли вплотную к практической главе, рассказывающей о создании несложных радиоприемников. Но, прежде чем перейти к увлекательному занятию конструирования, расскажем о человеке, который очень много сделал для современного радиовещания. На основании его идей создается современная аппаратура, осуществляется высококачественное УКВ-ЧМ-вещание.

Эдвин Говард Армстронг (1890—1954) — американский изобретатель и инженер-электрик. Он сделал такие известные технические открытия и изобретения, как обратная связь, регенеративный радиоприемник, супергетеродинный радиоприемник, ввел в обиход частотную модуляцию (ЧМ).

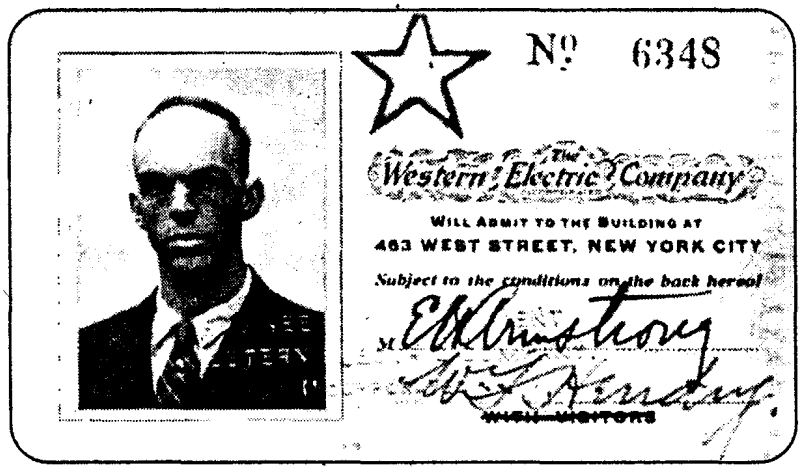


Рис. 10.43. Пропуск в компанию Western Electric, выданный Э. Армстронгу перед Первой мировой войной

Удивительно, но сам изобретатель трехэлектродной лампы Ли де Форест не смог досконально разобраться в принципах ее работы, а вот 22-летний Армстронг в 1912 г. не только разобрался с аудионом, но снял сигнал с выхода лампы и подал обратно на ее вход, что позволило значительно улучшить параметры существовавших тогда радиоприемников. Этот способ, названный **регенеративным**, сегодня используется широко не только в области радиотехники, но еще и в других областях электроники. Правда, название он получил другое — **положительная обратная связь**.

В 1919 г. Армстронг изобрел **супергетеродинный** приемник (о нем мы поговорим в следующей главе). Талантливый теоретик и большой умелец, Армст-

ронг собственноручно изготовил один из первых «супергетеродинов» и подарил его своей невесте. Этот приемник развлекал молодоженов во время их свадебного путешествия. Ученый в свадебной поездке не только отдыхал, но и всесторонне проверял работу своего изобретения.

В начале 1930-х гг. Армстронга увлекает идея радиовещания с помощью частотной модуляции. Он пытается теоретически доказать преимущества высококачественного ЧМ вещания, но владельцы мощных коммерческих АМ радиостанций не принимают его идеи, чувствуя источник конкуренции. И тогда Армстронгу ничего не остается делать, как экспериментально доказать преимущества ЧМ. Все работы по созданию экспериментальной аппаратуры ЧМ Армстронг финансирует из личных средств.

Первые испытания ЧМ были проведены 9 июня 1934 г. в Нью-Йорке. Вещание велось с мачты, установленной на знаменитом небоскребе «Empire State Building». Принималась передача на расстоянии нескольких десятков километров — была передана органная музыка двумя способами: АМ и ЧМ. Оказалось, что звучание органа, переданное частотно-модулированным сигналом, намного чище, намного громче и гораздо свободнее от зашумленности атмосферными помехами. АМ версия, по словам изобретателя, «была в сотни тысяч раз более зашумленной».

В течение лета этого же года Армстронг провел еще несколько экспериментов с ЧМ, в результате которых удалось передать практически полный диапазон частот, слышимых человеческим ухом, — от 50 до 15000 Гц. Слушатели могли различать не только слова диктора, но и интонации его голоса. Интересное техническое предложение, высказанное Армстронгом и нашедшее реализацию в сегодняшней аппаратуре в виде системы RDS, заключалось в возможности передачи на одной несущей звукового сообщения и цифровых данных.

Чтобы окончательно доказать преимущества ЧМ, в 1938 г. Э. Армстронг построил на свои средства в Нью-Джерси действующую радиостанцию и антенну. Эти уникальные памятники техники сохранились до нашего времени. Началось распространение ЧМ вещания. В 1939 г. в США насчитывалось около 40 станций, а в 1940-м — уже 500! В эти же годы было решено принять ЧМ в качестве стандарта для передачи звукового сопровождения телевидения.

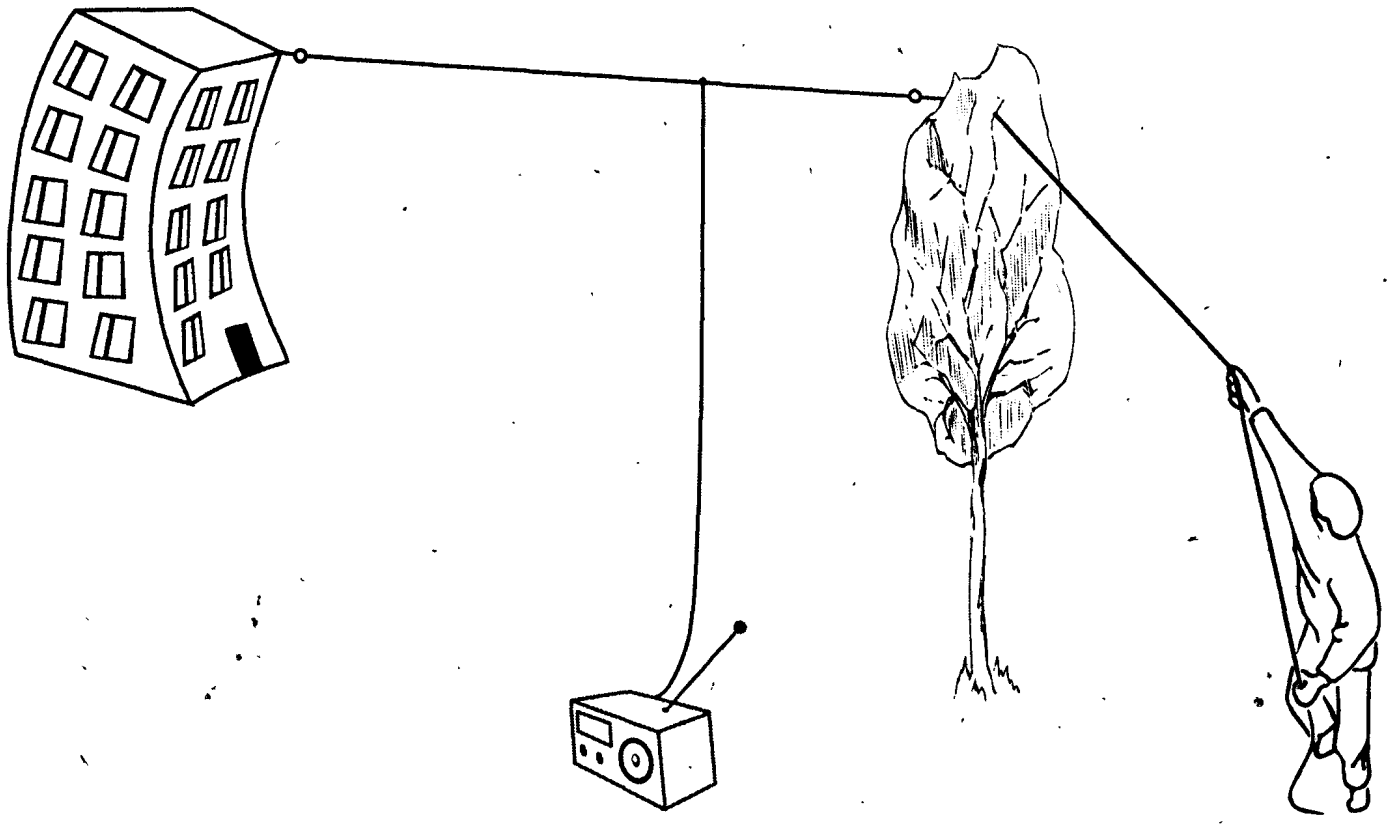
В конце Второй мировой войны ученый разработал ЧМ радар, сигналы которого впервые отразились от поверхности Луны и вернулись на Землю. Он доказал, что волны УКВ диапазона могут проникать через ионосферу.

Видя распространение ЧМ-вещания и у себя в стране, и за рубежом, Армстронг высказал смелое предположение: «Верю, что скоро количество слушателей ЧМ будет превышать количество слушателей АМ». И он оказался прав!

На прилагаемом к книге лазерном диске вы можете познакомиться с внешним видом одного из первых приемников частотно-модулированных сигналов, разработанного Э. Армстронгом (1938), видом антенны экспериментальной радиостанции W2XMN, впервые передавшей в эфир частотно-модулированный (ЧМ) сигнал (построена Э. Армстронгом в Нью-Джерси, США в 1938 г.) и рядом других исторических материалов. ■

Литература

1. Материалы рассылки «Энциклопедия ламповой аппаратуры» http://subscribe.ru.
2. Газета «Алфавит» http://www.alphabet.ru.
3. Сайт http://www.radio.uralregion.ru
4. Сайт компании «Viol» http://www.viol.uz.
5. Виртуальный музей А. С. Попова http://radiomuseum.ur.ru
6. E. H. Armstrong Web Site, http://users.erols.com/oldradio/eha1.htm
7. *Ф. М. Дягилев.* «Из истории физики и жизни ее творцов». — М.: «Просвещение». 1986.
8. *В. Г. Борисов.* «Кружок радиотехнического конструирования». — М.: «Просвещение». 1986.
9. *В. Т. Поляков.* «Техника радиоприема: простые приемники АМ сигналов». — М.: ДМК. 2001.
10. *В. Т. Поляков.* «Посвящение в радиоэлектронику». — М.: «Радио и связь». 1988.
11. *Б. М. Богданович и др.* «Краткий радиотехнический справочник». Минск: «Беларусь». 1976.
12. *Н. В. Бобров.* «Радиоприемные устройства». — М.: «Энергия». 1976.



Глава 11

Какие бывают радиоприемники

В этой главе мы ближе познакомимся с различными типами радиоприемников на основе практических конструкций. Некоторые из них уже стали достоянием истории, а другие живут полной жизнью и не собираются «сходить» с дистанции. Любой из описанных далее радиоприемников можно будет взять с собой на дачу, в поход, в турпоездку, не говоря уже об использовании дома. Надеемся, что эта глава доставит вам массу приятных часов, проведенных с паяльником в руках. ■

Детекторный приемник

Иногда детекторный приемник называют «прадедушкой современных средств связи». Этот вид радиоприемника считается родоначальником радиоприемной техники. Задача выделения сигнала из несущей в детекторном радиоприемнике решается чрезвычайно просто — с помощью всего лишь одного диода. Как мы помним, на заре радиотехники в качестве детекторов использовались кристаллические полупроводники, затем их сменили электронные лампы. Ныне мы смело можем детектировать модулированные колебания полупроводниковым диодом.

Детекторный приемник очень прост в сборке, не нуждается в кропотливой настройке и работает без источника питания — необходимую для работы электрическую энергию он извлекает непосредственно из принимаемой электромагнитной волны. К значительным недостаткам этого приемника относятся низкая чувствительность к принимаемому сигналу, низкая избирательность, возможность принимать только амплитудно-модулированные колебания и малый уровень громкости звука. Поскольку уровень энергии радиоволны очень мал, для громкоговорящего приема сигнал необходимо усиливать. Для повышения уровня принимаемого сигнала используются различные виды усиления, а это уже довольно сложные схемы, содержащие десятки, а то и сотни элементов. С введением усилительных устройств приемник перестает быть детекторным, и мы поговорим об усилении чуть позже.

Перечисленные недостатки не позволяют использовать детекторные приемники для серьезных задач, но на его примере можно проследить процессы, протекающие в более сложных радиоприемных устройствах, совершить первое

практическое путешествие в мир радиоволн. Детекторный приемник радовал слушателей в течение примерно двух десятилетий с начала XX в. Его усовершенствовали и улучшали, украшали и дорабатывали.

Придумать что-то новое в детекторном приемнике довольно сложно — все уже придумано, изучено, изготовлено и опробовано. Поэтому мы изготовим классический вариант однодиапазонного детекторного приемника, который при желании может стать двухдиапазонным. Для сборки нам понадобятся: ферритовый стержень марки 400НН или 600НН длиной не менее 100 мм и диаметром 8...10 мм, три конденсатора с номиналами, указанными на схеме рис. 11.1, полупроводниковый германиевый диод Д9 с любым буквенным индексом, телефонный капсюль с сопротивлением обмотки 1...2 кОм, антенна и заземление. Если удастся найти воздушный переменный конденсатор типа КПЕ-1 емкостью 9...495 пФ, использовавшийся в промышленных ламповых радиоприемниках, то для настройки на станцию удобнее будет использовать его. Если же такого «старичка» не нашлось — не беда! Настраиваться приемник, правда несколько хуже, будет перемещением ферритового сердечника внутри катушки. Другой вариант — параллельное включение двух секций малогабаритного конденсатора КПП-2 2 × 4-270 (4...270 пФ). Подойдут и аналогичные конденсаторы переменной емкости — важно лишь, чтобы их емкость более-менее соответствовала указанной.

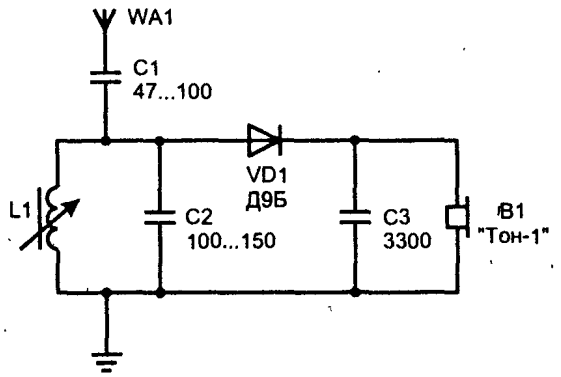


Рис. 11.1. Электрическая схема детекторного приемника

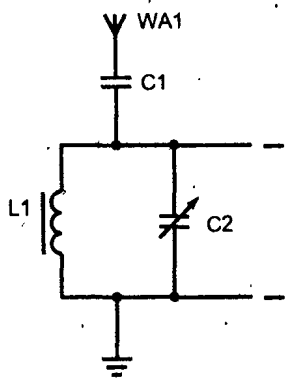


Рис. 11.2. Вариант входной цепи детекторного приемника с КПЕ

Принцип работы приемника очень прост: колебания радиочастоты входят в резонанс с колебательным контуром L1C2, в результате чего их амплитуда возрастает. Нижняя половина колебания «отрезается» диодом VD1. Конденсатор C3 «сглаживает» высокочастотные пульсации и выделяет огибающую сигнала. Впрочем, исключение C3 из схемы, как правило, не приводит к какой бы то ни было потере и без того низкого качества приема.

Вначале изготавливаем катушку индуктивности L1. Для этого на ферритовый сердечник нужно намотать несколько слоев не слишком тонкой бумаги, проклеив ее клеем ПВА, «Момент» или другим аналогичным. Склеивать слои нужно аккуратно, чтобы бумага не приклеилась к сердечнику. После высыхания мы получим **каркас**, в котором ферритовый стержень должен перемещаться свободно. На каркас нужно намотать провод типа ПЭВ, ПЭЛ или ПЭТВ

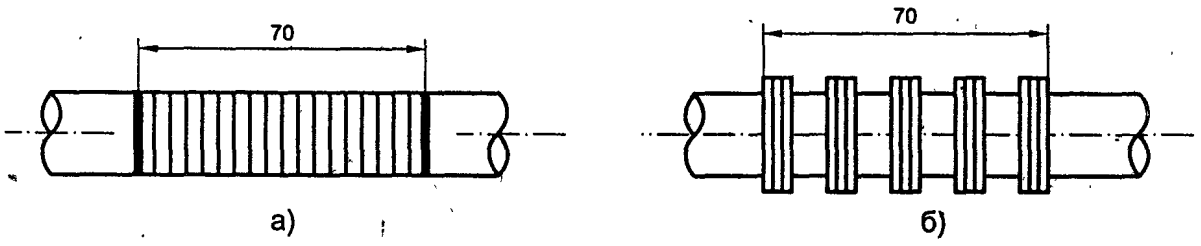


Рис. 11.3. Конструкция катушки L1:
а — для приемника СВ диапазона; б — для приема ДВ диапазона

диаметром 0,2...0,3 мм (такие провода в специальной эмалевой изоляции используются для намотки трансформаторов). Наматывать провод на каркас нужно виток к витку (для диапазона СВ, рис. 11.3, *а*) или «внавал» пятью-шестью секциями с небольшими промежутками (для диапазона ДВ, рис. 11.3, *б*), не допуская обрывов, скруток (секционированный способ намотки позволяет уменьшить межвитковую емкость внутри самой катушки, что улучшает ее параметры). Обмотка должна «лечь» посередине каркаса. Выводы лучше всего закрепить швейными нитками, после чего обмотку надо пропитать парафином, зафиксировав ее на каркасе. Число витков катушки: 70...80 для приема средневолнового диапазона (СВ) и 300...320 — для длинноволнового диапазона (ДВ). Остальные детали используются в готовом виде.

После сборки приемника, например на кусочке картона (рис. 11.4), можно подключить антенну, заземление и капсюль от головных телефонов (капсюль обязательно нужен высокоомный, с сопротивлением обмотки порядка 1—2 кОм, например типа ТОН-1, ТОН-2, ТГ-1, ТА-4). Теперь внимание: вокруг должно быть тихо! Прижмите капсюль к уху и прислушайтесь. Если в вашей местности вещает хотя бы одна радиостанция ДВ или СВ, ее звуки должны прослушиваться. Громкость звучания не будет большой, но и человеческую речь, и музыку различить удастся. Перемещением ферритового сердечника нужно «поймать» максимальную громкость станции. Что мы делаем? Мы меняем резонансную частоту контура с помощью изменения индуктивности катушки L1. Конденсатор C1 ослабляет влияние антенны на колебательный контур. В другом варианте ферритовый сердечник можно оставить на месте, но тогда конденсатор C2 должен стать переменным, как показано на рис. 11.2.

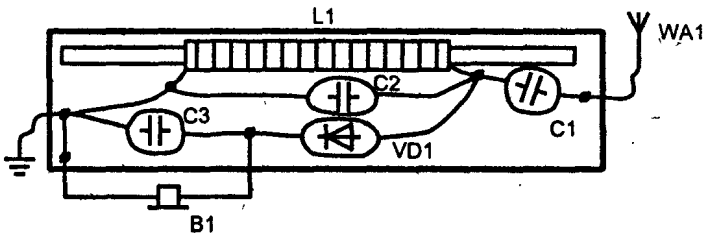


Рис. 11.4. Монтаж детекторного приемника

Уникальная особенность детекторного приемника заключается в сохранении его свойств в течение многих лет. Включив свой первый приемник лет через 20 или 30, вы все равно застанете его в работоспособном состоянии. Сломаться в нем нечему! Но, как мы уже говорили, детекторный приемник обладает низкой селективностью, то есть очень плохо выделяет полезный сигнал на фоне мешающих. Чтобы понять, почему у этого приемника столь низкий показатель селективности, обратим внимание на рис. 11.5. Оказывается, любая радиостанция, излучая сигнал в эфир, занимает определенную **полосу**

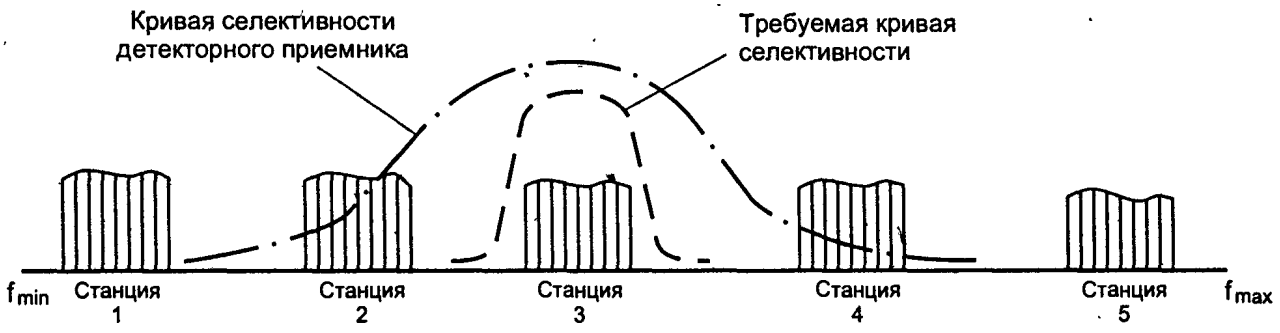


Рис. 11.5. Спектры, излучаемые радиостанциями, и кривые селективности

частот, или, другими словами, **спектр частот**. Для принятия сигнала без искажений необходимо, чтобы приемник пропускал все частоты спектра, излучаемого полезной радиостанцией, и задерживал частоты спектров мешающих станций. На приведенном рисунке пунктирной линией показана **кривая селективности** хорошего приемника и селективная кривая приемника детекторного (штрихпунктирная линия), представляющая собой знакомую нам частотную характеристику одиночного колебательного контура. **Скаты** селективной кривой пересекают спектры мешающих радиостанций, и из-за **низкой избирательности** одиночного колебательного контура в телефоне детекторного приемника могут прослушиваться звуки нескольких станций одновременно.

Вообще, если быть совсем строгими, селективность детекторного приемника определяется еще и потерями, вносимыми в колебательный контур детектором. Детектор имеет низкое входное сопротивление, поэтому он понижает добротность контура. Чтобы немного повысить селективность, детектор иногда включают в контур не полностью, а делают отвод в процессе намотки катушки и уже к нему подводят вход этого устройства.

Довольно забавный вариант приемника, являющегося переходным вариантом между детекторными и приемниками прямого усиления, с простейшим усилителем, придуманного **Ю. Георгиевым**, можно испытать на своем садовом участке. Схема приемника приведена на рис. 11.6. В качестве VT1 подойдет любой германиевый p-n-p транзистор. Еще нужно запастись медной трубкой длиной около полуметра и алюминиевым листом размером примерно с тетрадный лист. Электроды этого гальванического элемента надо закопать во влажный грунт на расстоянии 0,3...0,5 м, на глубине 1 м. Алюминиевый лист нужно предварительно завернуть в синтетическую (например, капроновую) сетку. Намоточные данные катушки L1 — такие же, как и в предыдущем случае.

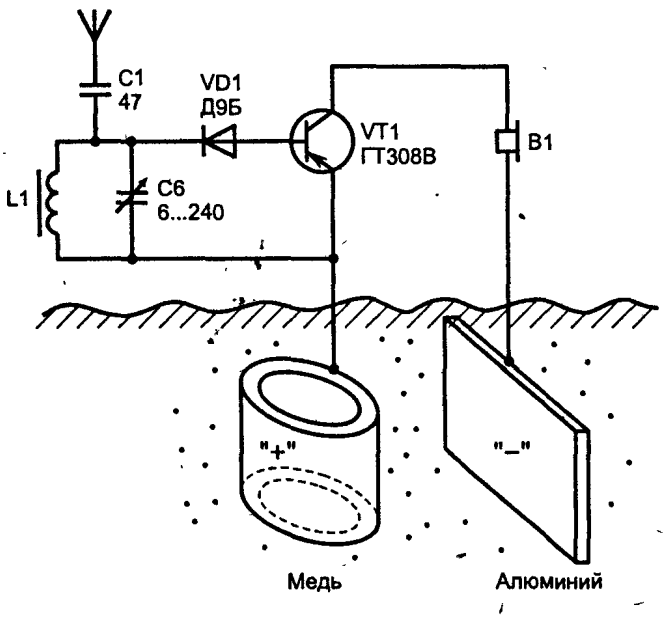


Рис. 11.6. Приемник для дачного участка

Несмотря на свою простоту, исключающую какие бы то ни было значительные улучшения качества радио-

приема, детекторные приемники все еще увлекают некоторых радиолюбителей. Например, известный радиолюбитель-популяризатор В. Т. Поляков посвятил детекторным радиоприемникам даже отдельную книгу [6], в которой привел разнообразные схемы, отличающиеся повышенной селективностью, повышенной громкостью приема. Желающие смогут эту книгу найти и прочитать. А мы закончим разговор о детекторных приемниках и перейдем к более совершенным практическим конструкциям. ■

Приемник прямого усиления

Превратить детекторный приемник в приемник прямого усиления очень просто — достаточно отключить от него телефон и подать продетектированный сигнал на простейший **усилитель низкой частоты** (УНЧ), например, изготовленный на одном транзисторе. Громкость сигнала повысится, правда, для этого придется ввести еще источник питания. Селективность такого приемника не станет лучше, но ее можно повысить, во-первых, введя отвод в колебательном контуре, и, во-вторых, включить между детектором и контуром буферный каскад на транзисторе, называемый **усилителем радиочастоты** (УРЧ). Идеальным вариантом может считаться полевой транзистор, у которого имеется высокое входное сопротивление, и он не будет **шунтировать** контур, вносить в него дополнительные потери. Однако часто обходились и биполярным транзистором с гораздо более низким входным сопротивлением, частично включая УРЧ в контур или используя **катушку связи** (что, в принципе, является вариантом неполного включения). По крайней мере, практически все простые транзисторные приемники прямого усиления, серийно выпускавшиеся в 50—60-х гг. прошлого века, были построены только на биполярных транзисторах.

Изготовим вначале простейший приемник прямого усиления на основе детекторного приемника. Вообще, если вы не намереваетесь сохранить «для истории» свой детекторный приемник, его можно полностью разобрать и использовать детали вновь. Можно вообще детекторный приемник не разбирать, дополнив его несколькими элементами, расположенными на свободном месте. Но лучше собрать новый приемник из отдельного комплекта деталей, на специальной печатной плате — так интереснее.

Чтобы характеризовать каскады радиоприемников прямого усиления, как-то отличать схемы друг от друга, еще на заре радиотехники было придумано следующее трехбуквенное обозначение. Например, если в описании какого-либо приемника встретится «1-V-1», это означает, что один каскад на транзисторе (электронной лампе) используется в качестве УРЧ, а второй — в качестве УНЧ. Буква «V» — условное обозначение детектора. Приводимые далее две схемы приемников построены по принципу 0-V-1, то есть не имеют каскада УРЧ, а каскад УНЧ — единственный.

Итак, схема приемника прямого усиления на основе детекторного приемника приведена на рис. 11.7, печатная плата — на рис. 11.8, а сборочный чертеж — на рис. 11.9.

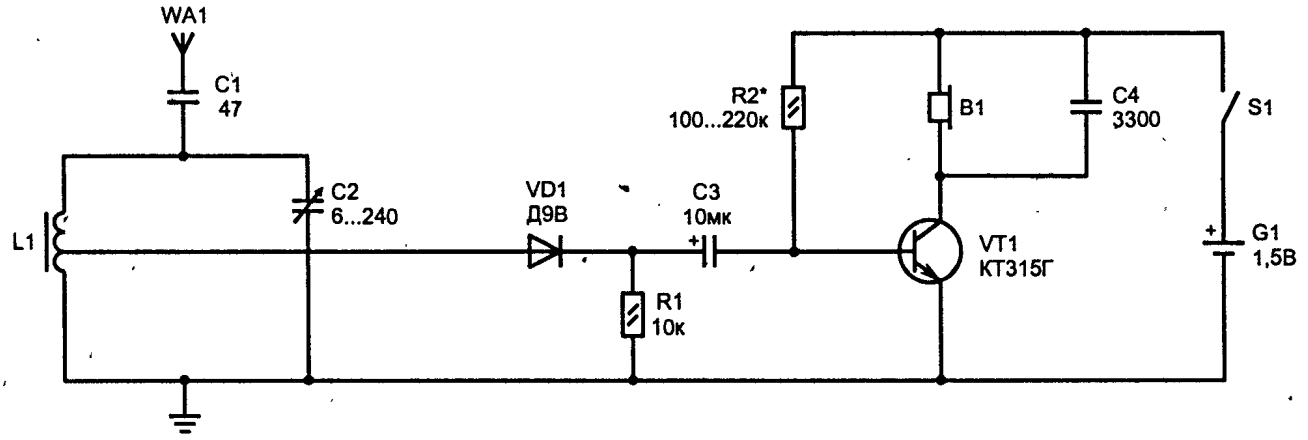


Рис. 11.7. Приемник прямого усиления на основе детекторного приемника

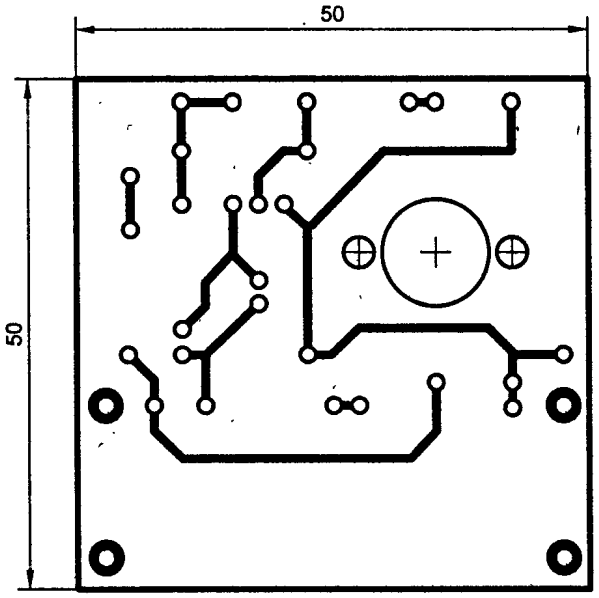


Рис. 11.8. Печатная плата

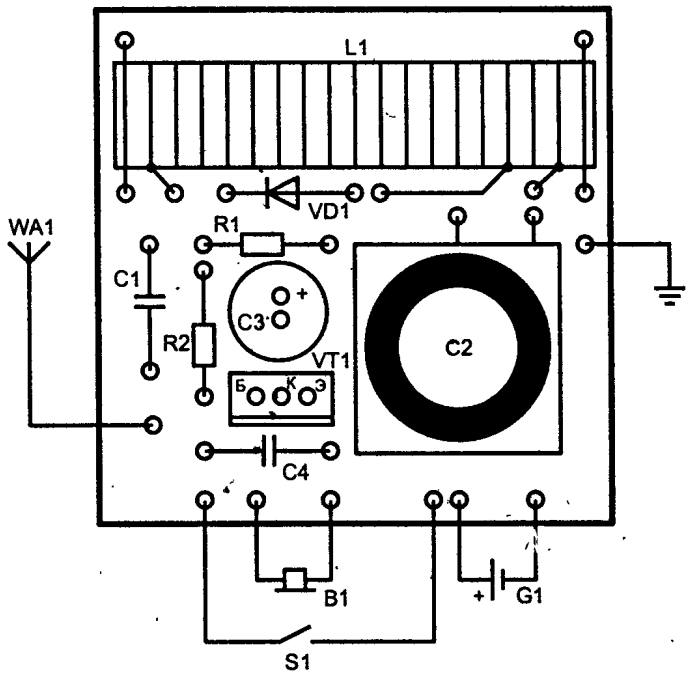


Рис. 11.9. Сборочный чертеж

От описанной ранее она отличается конструкцией катушки L1. Если предполагается использовать приемник для диапазона СВ, необходимо намотать 75 витков провода с отводом от 20 витка (нижний по схеме). Намотка для диапазона СВ должна вестись виток к витку. Если же читатель намерен прослушивать станции, вещающие в диапазоне ДВ, нужно намотать 220 витков провода, разбив примерно на пять намотанных внавал секций. Отвод делается от 50 витка. Диаметр каркаса, длина и марка ферритового стержня такие же, как и в детекторном приемнике, провод — ПЭЛ, ПЭВ, ПЭТВ, ПЭЛШО диаметром 0,15...0,3 мм. Переменный конденсатор С2 — воздушный или керамический с максимальной емкостью не менее 240 пФ. Остальные конденсаторы — керамические любого типа. Конденсатор С3 — электролитический типа К50-16, К50-35, К50-68 или другой. В качестве источника питания можно использовать пальчиковую батарейку напряжением 1,5 В. Транзистор VT1 — КТ315, КТ312 с любым буквенным индексом, диод VD1 — типа Д9 с любым буквенным индексом, переменный конденсатор — типа КПП-2 2 × 4-270 с включенной одной секцией.

При настройке необходимо подобрать резистор R2 до получения максимальной громкости звука в телефоне B1. Сделать это можно так: вместо резистора R2 впаять подстроечный резистор сопротивлением 330 кОм, включив его реостатом, то есть замкнув средний вывод на один из крайних. Затем, настроив максимальную громкость, выпаять резистор из схемы, измерить сопротивление и впаять на его место постоянный резистор с близким номиналом.

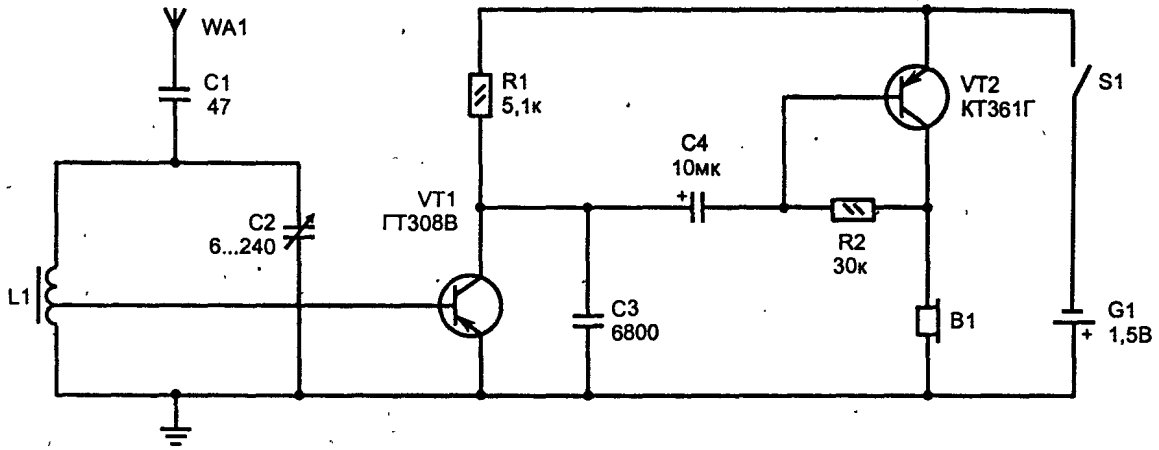


Рис. 11.10. Приемник прямого усиления на основе транзисторного детектора

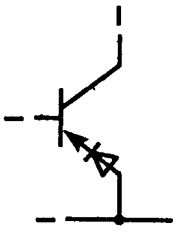


Рис. 11.11. Принцип работы транзисторного детектора

Очень похожий вариант приемника представлен на рис. 11.10, только в нем отсутствует полупроводниковый диод. Как же тогда осуществляется детектирование модулированных колебаний? Очень просто! Взгляните на рис. 11.11. Транзистор VT1 работает без смещения, а значит, одна полуволна сигнала будет срезана, а другая — усилена. Детектирует колебания эмиттерный переход транзистора. Такой детектор называется **коллекторным детектором**. Он довольно часто применялся в массовых моделях радиоприемников. Поскольку на выходе колебательного контура L1C2 амплитуда напряжения мала, транзистор VT1 должен быть германиевым, например ГТ308, П416, П422. Сегодня германиевые транзисторы практически не выпускаются, так что, скорее всего, придется разыскивать их в отслужившей старой аппаратуре.

Печатная плата приемника приведена на рис. 11.12, сборочный чертеж — на рис. 11.13.

Теперь попробуем отказаться от внешней антенны и заземления. Если вы помните, неплохим вариантом является магнитная антенна, в качестве которой используется сердечник колебательного контура. Сигнал, получаемый с магнитной антенны, невелик, поэтому, во-первых, нужно отказаться от полного включения контура в каскад УРЧ, чтобы не снижать добротность контура, и, во-вторых, ввести хороший многокаскадный УРЧ. Интересный вариант ДВ приемника прямого усиления типа 3-V-1, предлагаемый читателю далее, представляет собой упрощенный вариант схемы **И. Александрова**. В схеме рис. 11.14 транзисторы VT1—VT3 — трехкаскадный УРЧ, охвачен-

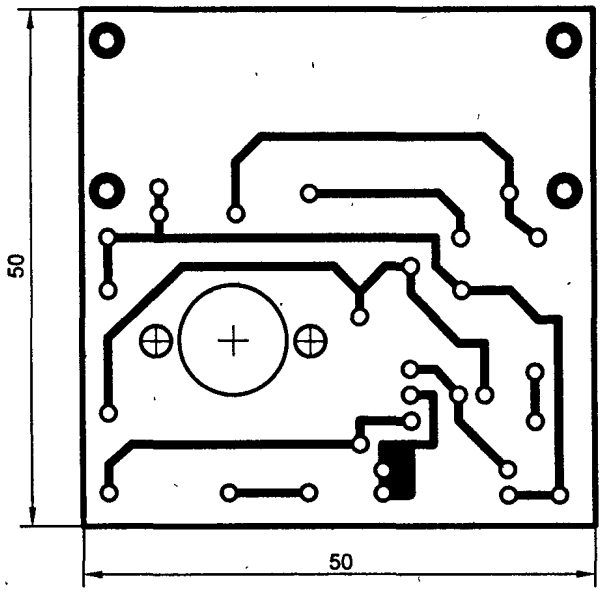


Рис. 11.12. Печатная плата

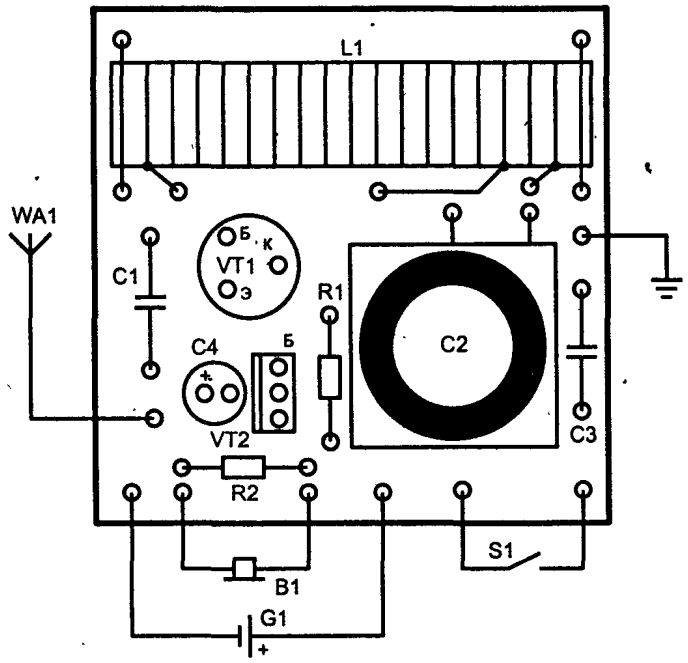


Рис. 11.13. Сборочный чертеж

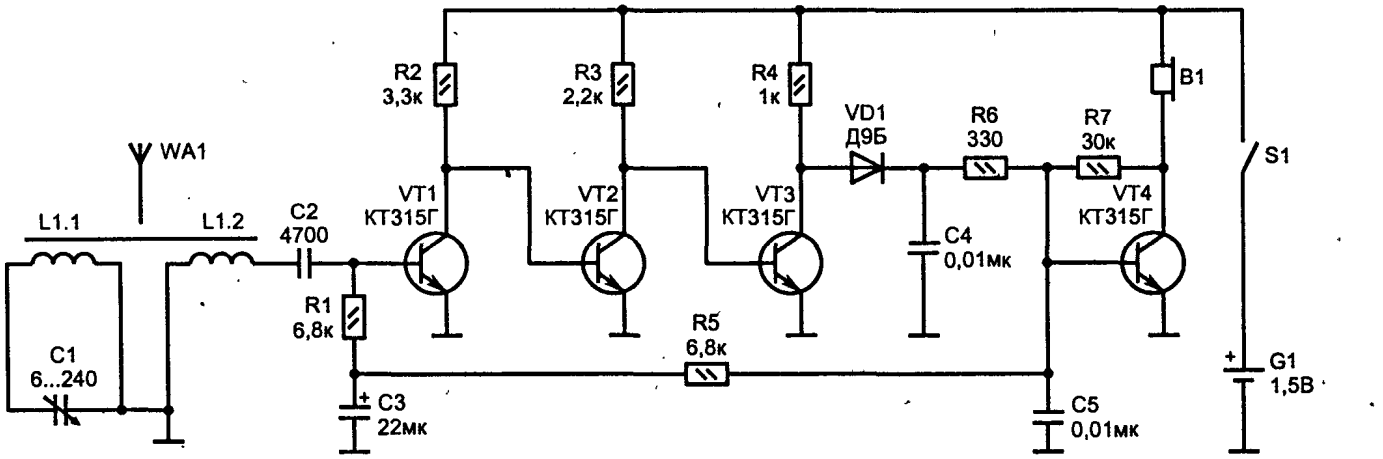


Рис. 11.14. Приемник 3-V-1

ный отрицательной обратной связью по постоянному току, обеспечивающей стабилизацию режима работы транзисторов. В резонанс с принимаемой волной настраивается контур L1.1, C1, но сигнал снимается не непосредственно с него, а с катушки связи L1.2. Конденсатор C2 — разделительный. Он не позволяет нарушить режим работы УРЧ, связанный с замыканием на общий провод схемы тока через катушку L1.2.

Намоточные данные катушки L1.1 — 220 витков, L1.2 — 40 витков — для диапазона длинных волн. Остальные данные можно взять из предыдущей конструкции.

Печатная плата показана на рис. 11.15, сборочный чертеж — на рис. 11.16. Кстати, подумайте, как этот приемник можно настроить на диапазон СВ или вообще сделать двухдиапазонным.

Последний вариант приемника прямого усиления представлен на рис. 11.17. Особенностью этой схемы является отсутствие катушки связи и полное вклю-

чение контура без снижения его добротности. Достигнуто это введением истокового повторителя на полевом транзисторе VT1. Вторая интересная схемотехническая находка — детектор «с удвоением сигнала», построенный на диодах VD1 и VD2. Схема позволяет получить вдвое увеличенный размах напряжения звуковой частоты по сравнению с одиночным диодом. Других особенностей схема не имеет.

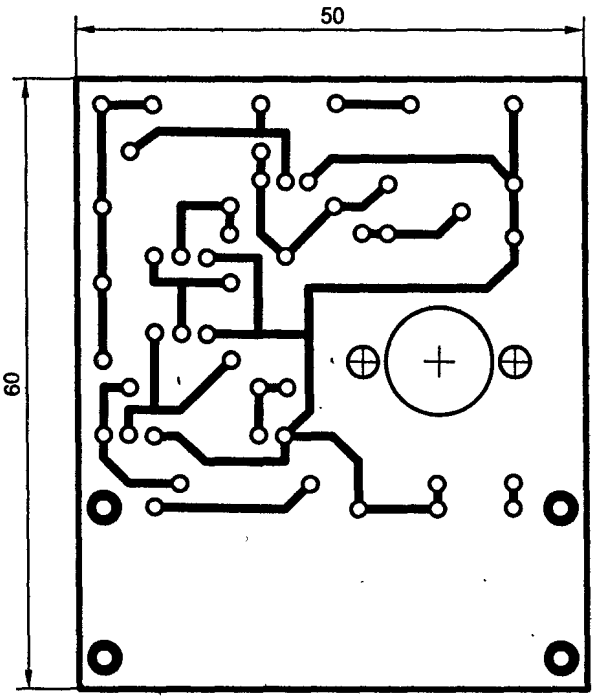


Рис. 11.15. Печатная плата

Намоточные данные катушки L1 — те же. Питается приемник от батареи «Крона» напряжением 9 В. В качестве VT1 допустимо использовать КП302А, КП303В...КП303Е, КП307А, КП307Б.

Печатная плата и сборочный чертеж показаны на рис. 11.18, внешний вид монтажа — на рис. 11.19.

Собственно, вот и все, что мы хотели рассказать о приемниках прямого усиления. Но следует также знать, что существует разновидность схемы, которая называется рефлексным приемником. С ней мы тоже познакомимся. ■

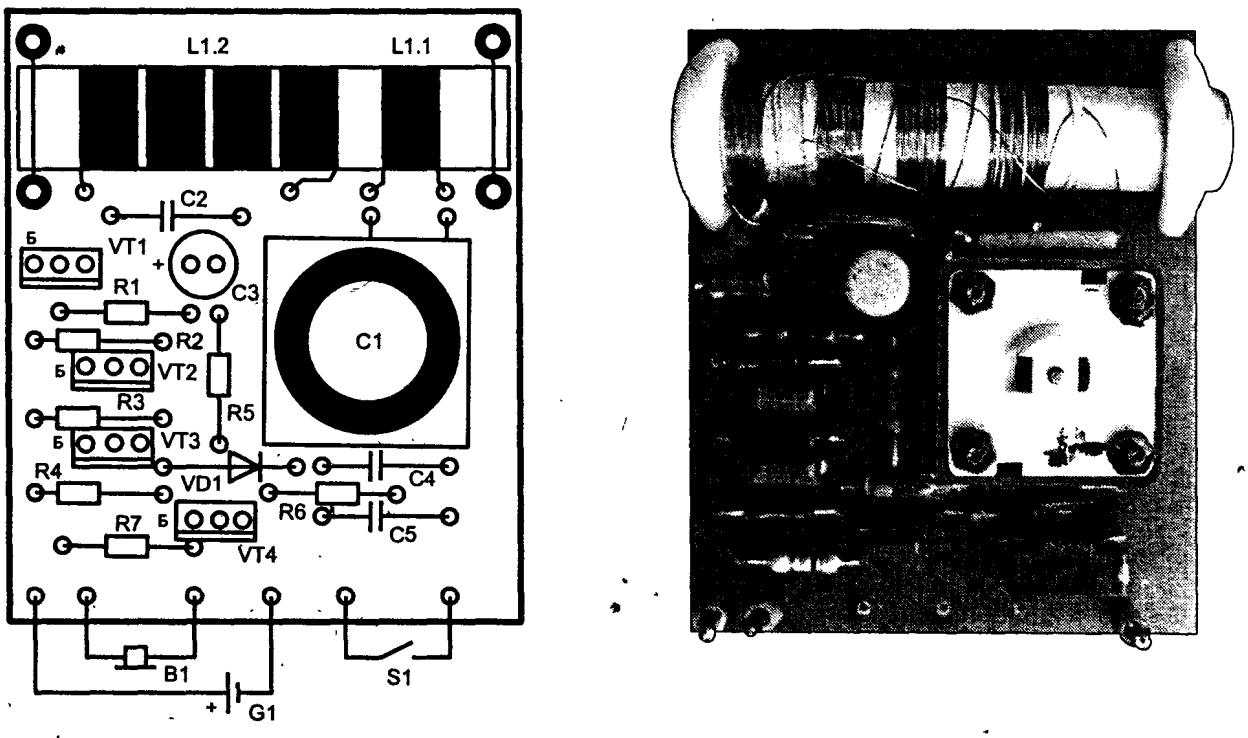


Рис. 11.16. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

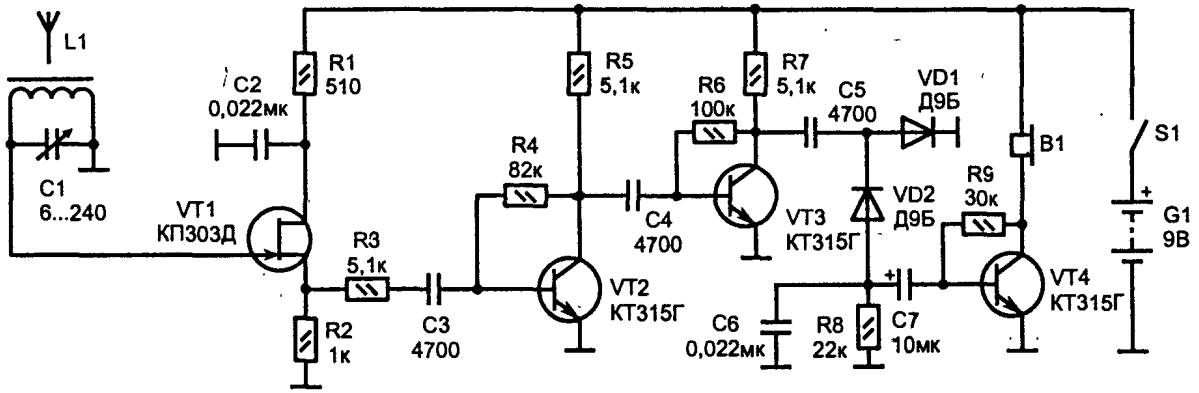


Рис. 11.17. Приемник 3-V-1 с полевым транзистором на входе УВЧ

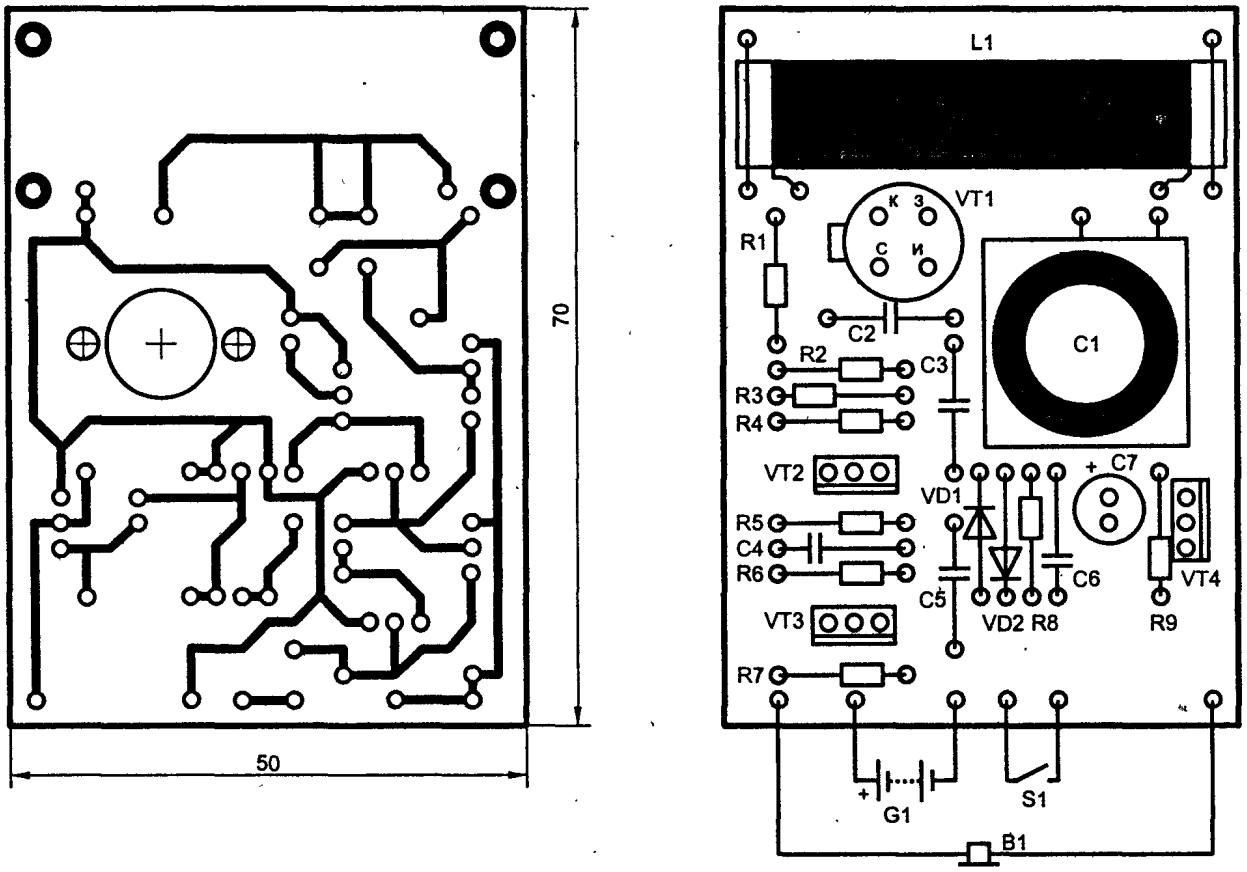


Рис. 11.18. Топология печатной платы и расположение элементов

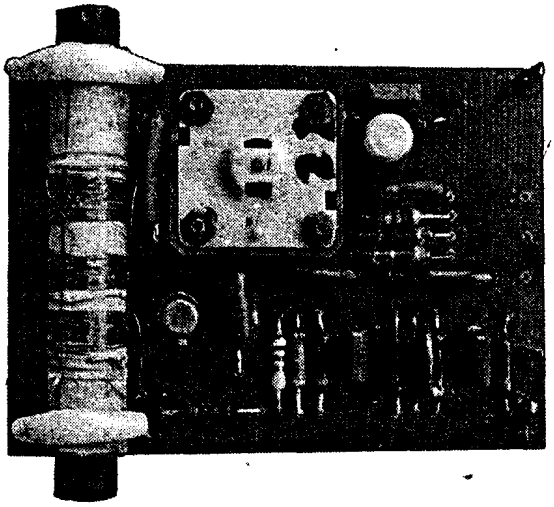


Рис. 11.19. Внешний вид монтажа

Рефлексный приемник

Это — тоже приемник прямого усиления, только в нем один и тот же каскад используется как для усиления радиочастотных сигналов, так и для усиления сигналов звуковых частот. Рефлексная схема несовершенна, поскольку она не отличается ни высокой избирательностью, ни повышенной чувствительностью к слабым сигналам. Однако рефлексный приемник был популярен, когда радиодетали стоили дорого и приходилось экономить на каждой мелочи.

Схема приемника 1-V-1 на одном транзисторе приведена на рис. 11.20, печатная плата — на рис. 11.21, сборочный чертеж — на рис. 11.22.

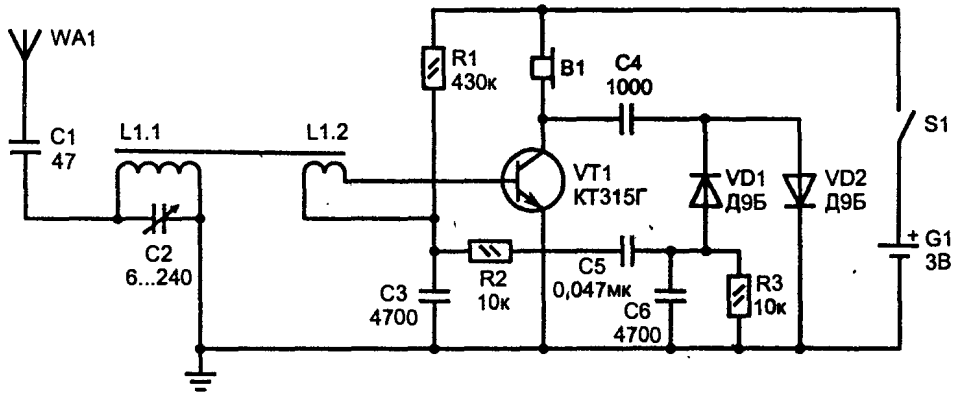


Рис. 11.20. Рефлексный приемник

Намоточные данные катушки L1.1 нам уже хорошо известны по предыдущей конструкции, а катушка L1.2 должна содержать 25 витков для диапазона ДВ и 8..10 витков — для СВ. Катушку связи лучше намотать на отдельном бумажном колечке, чтобы потом, передвигая его по сердечнику, добиться максимума громкости, минимума искажений звука и максимума селективности.

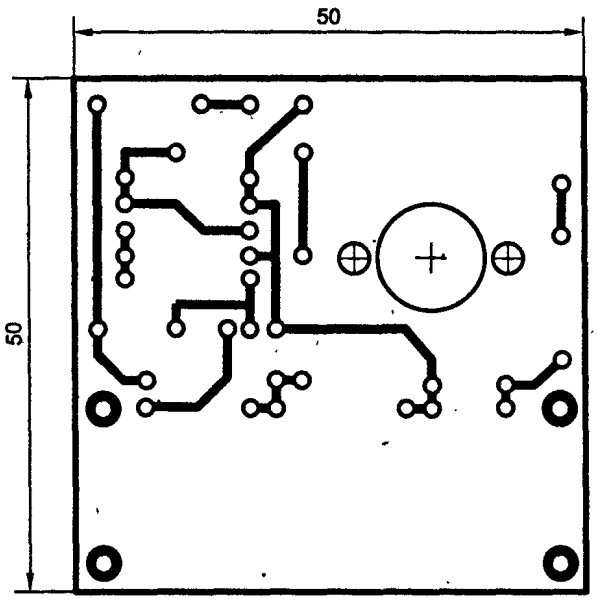


Рис. 11.21. Печатная плата

В схеме режим работы транзистора VT1 выбран таким, чтобы он усиливал высокочастотный сигнал, приходящий с катушки L1.2, который с коллектора поступает на детектор из диодов VD1, VD2. Детектор выполнен по схеме с умножением напряжения. Продетектированный низкочастотный сигнал через цепочку C5, R2, L1.2 возвращается на базу транзистора VT1 и опять усиливается им. Если в схеме возникнет самовозбуждение (характерный писк в телефоне), необходимо в небольших пределах подобрать величину емкости конденсатора C4. ■

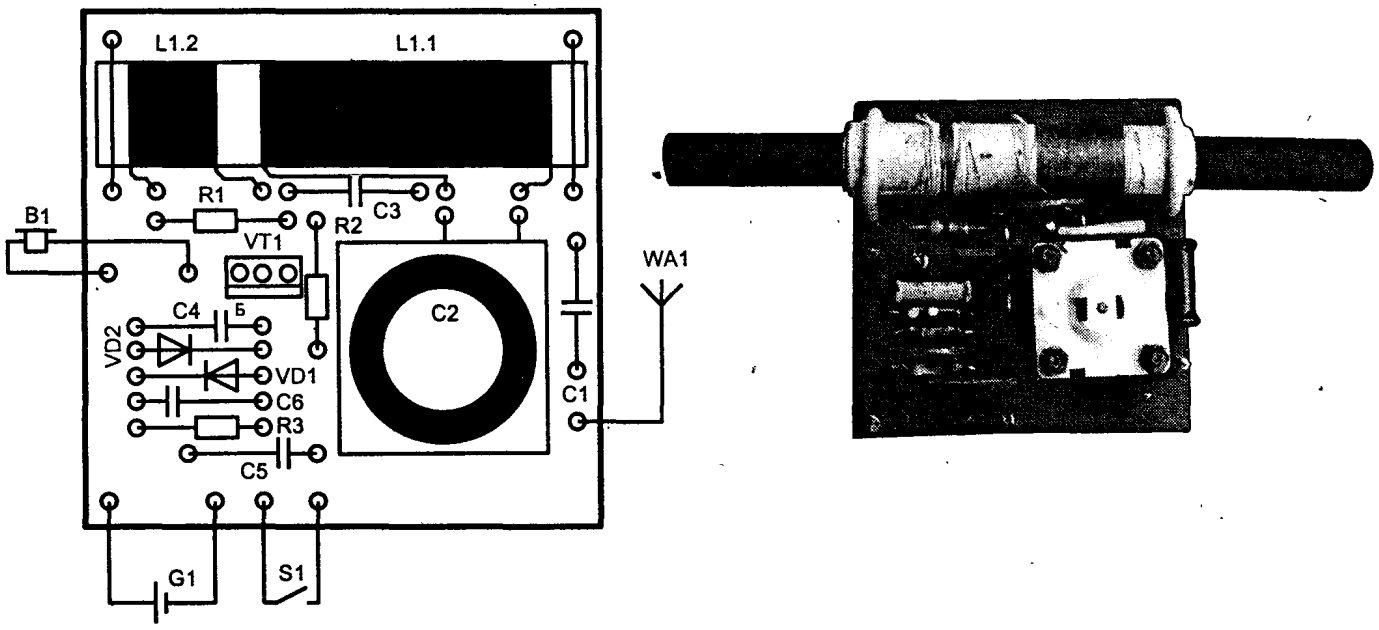


Рис. 11.22. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

Регенеративный приемник

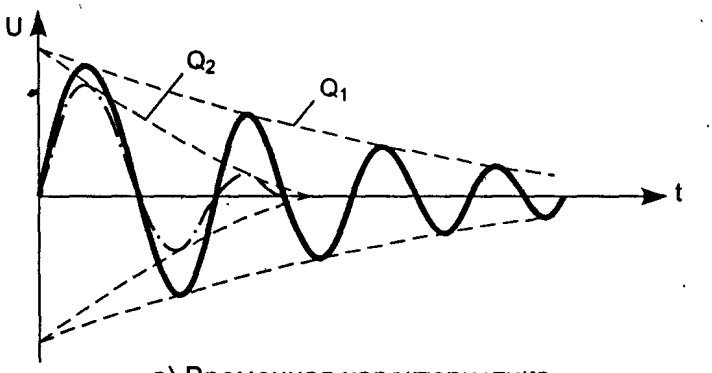
Теперь настало время познакомиться с детищем Эдвина Армстронга образца 1914 г., называемым регенеративным приемником, или **регенератором**. На слух название этого приемника ассоциируется с генератором гармонических (синусоидальных) колебаний, но на самом деле регенератор не создает колебаний, а работает подобно приемнику прямого усиления, то есть непосредственно усиливает сигнал. Впрочем, есть у регенератора сходство и с усилителем, и с генератором. Это — **уже не** усилитель, но **еще не** генератор. Абсурдно? Ничуть! Давайте разбираться, как такое может быть.

Вспомним характер свободных колебаний в резонансном контуре. Они всегда носят затухающий характер благодаря потерям в контуре. Чем больше потери, тем быстрее колебания затухают. Колебательный контур имеет еще одно интересное свойство: вид его частотной характеристики однозначно связан с временной характеристикой (то есть с характером затухания свободных колебаний), что показано на рис. 11.23. Чем медленнее затухают колебания в контуре, тем «острее» резонансная частотная характеристика. Что можно сделать, чтобы уменьшить потери в контуре? На сегодняшний день существуют пассивные и активные методы повышения добротности. Пассивные методы связаны с уменьшением активного сопротивления катушек индуктивности, применением специальных конденсаторов с воздушным диэлектриком, неполным включением контуров. Пассивные методы, конечно, применяются довольно часто, но они «работают» до определенного предела. Например, одиночный контур с добротностью 200 сделать не так просто, в то время как для надежной отстройки от соседних радиостанций в диапазоне СВ и особенно КВ нужно иметь добротность по крайней мере 1000...1500. Конечно, можно значительно улучшить входной контур радиоприемника, применив несколько колебательных контуров, поставленных один за другим и настроенных по специальной методике.

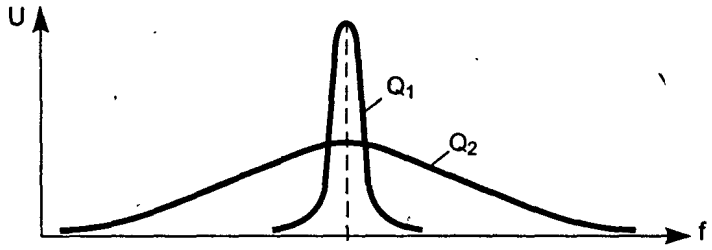
Сложность изготовления такого приемника многократно возрастет и окажется недоступной для начинающего радиолюбителя.

Но не будем впадать в отчаяние — на помощь придут активные методы повышения добротности контуров. Вслед за изобретателями этих методов мы поразмыслим, как можно повысить добротность с помощью... вынужденных колебаний! Если к колебательному контуру подвести источник внешних колебаний, то в контуре будет постоянно наблюдаться резонанс — внешний источник восполнит потери. Но контур сам служит источником колебаний, поэтому можно с помощью специальной электронной схемы отобрать часть колебательной энергии, усилить ее и вернуть назад в контур, тем самым частично сократив потери.

Если мы будем возвращать в контур больше энергии, чем расходуется на потери, в контуре возникнут **незатухающие колебания**. Теоретически они продолжатся бесконечно долго, а практически — пока не иссякнет энергия, питающая схему отбора, усиления и возврата колебательной энергии. Так рассуждал изобретатель А. Мейсснер, создавший первый в мире работоспособный генератор незатухающих колебаний на электронной лампе (генератор Мейсснера).



а) Временная характеристика



б) Частотная характеристика

Рис. 11.23. Зависимость частотных и временных характеристик колебательного контура

Генератор нам пригодится в дальнейшем, а сейчас он просто мешает — генерация недопустима в приемнике прямого усиления. Однако мы забыли, что сможем вернуть в контур чуть меньше энергии, чем необходимо на полное покрытие потерь. Колебания в таком контуре будут продолжаться дольше, чем в контуре без восполнения потерь, но они все равно рано или поздно закончатся. А теперь еще раз взгляните на рис. 11.23. Мы абсолютно точно можем сказать, что добротность контура повысилась, резонанс в частотной области стал «острее».

Интересно отметить, что таким методом мы сможем и увеличить потери в контуре, сделав резонансную кривую более пологой. Соответственно очень важно правильно подать сигнал **обратной связи** в контур, чтобы регенерация была возможна. Обратная связь в регенераторе носит **положительный** характер, то есть собственные колебания и колебания из цепи обратной связи должны складываться, а не вычитаться друг из друга.

Регенеративный прием сегодня скорее достояние истории, это в первую очередь предмет увлекательного радиолюбительского творчества. Серьезная радиоприемная аппаратура и аппаратура связи строятся по другим принципам, и вот почему. Мы уже установили, что при определенных условиях регенератор

может превратиться в источник колебаний — положительная обратная связь всегда неустойчива. Поэтому в любой регенератор приходится вводить, ко всем прочим настройкам, еще и регулятор степени регенерации. Настроившись на принимаемую станцию, необходимо отрегулировать этим органом управления сигнал по максимуму громкости, минимуму искажений и отстройке от соседних станций. В дальнейшем приходится иногда подстраивать регенерацию, так как контур с повышенной добротностью чувствительнее ко всякого рода нестабильностям типа изменения температуры окружающей среды, напряжения питания. Практическое применение в профессиональной аппаратуре находит лишь собрат регенератора — сверхрегенератор. О нем мы поговорим позже. А регенератор, несмотря на массу недостатков, до сих пор популярен у радиолюбителей, подкупая своей чрезвычайной простотой и потрясающей избирательностью, дающейся почти даром. Радиоприемную часть регенератора можно собрать всего на одном (!) транзисторе.

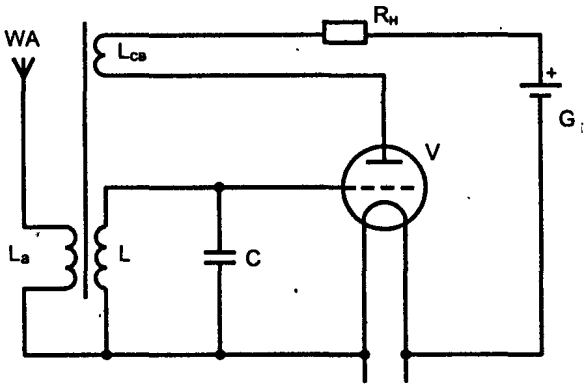


Рис. 11.24. Простейший регенератор (схема Мейсснера)

Итак, что собой представляет схема простейшего регенератора? Взглянем на рис. 11.24. Сигнал принимает антенна WA, и через катушку La он поступает в основной контур LC, который подключен к сетке и катоду лампы V. Контурные колебания модулируют анодный ток и через катушку связи Lсв поступают обратно в контур LC. Степень регенерации регулируется связью между Lсв и L, например сближением катушек. При определенной связи между катушками возникают незатухающие колебания и регенератор превращается в чистый генератор колебаний (генератор Мейсснера).

Современный регенератор нелепо собирать на электронной лампе — выручают транзисторы. Да и степень положительной обратной связи при современном уровне развития элементной базы регулировать намного удобнее. Мы будем использовать в качестве регулировки регенерации обыкновенный переменный резистор.

Вы еще не разобрали приемник прямого усиления, в котором используется на входе полевой транзистор (рис. 11.17)? В этом случае вам придется сделать минимум доработок, чтобы превратить приемник в регенератор. Необходимо лишь заменить резистор R2 на переменный (непроволочного типа, например, СП3-19) и сделать отвод от катушки L1, как показано на рис. 11.25. Для диапазона ДВ отвод нужно сделать от 3 витка (началом считать правый по схеме вывод катушки), для диапазона СВ — от 1 витка. Транзистор VT1, как мы знаем, является истоковым повторителем, то есть не переворачивает фазы, а значит, сигнал с резистора R2 складывается с собственными колебаниями в контуре L1, C1, повышая его добротность.

Более сложный вариант регенеративного приемника, рассчитанного на работу в коротковолновых диапазонах, охватывающий частотный участок от 3,5 до 22 МГц, построен на базе американского радиолюбительского набора

MFJ-8100, представляющего собой комплект деталей, печатную плату и корпус для самостоятельной сборки регенератора. Схема этого набора со всеми необходимыми данными неоднократно публиковалась в печати, в том числе и в отечественной, что позволяет собрать и отладить приемник собственными силами.

Схема приемника, приведенная на рис. 11.26, несколько модернизирована по сравнению с оригинальной: добавлен УНЧ на интегральной микросхеме D1 типа К174УН14 (импортный аналог TDA2003). Переключатель SA1 осуществляет коммутацию диапазонов в следующих положениях:

1 — 3,5...4,3 МГц;
2 — 5,9...7,4 МГц;
3 — 9,5...12,0 МГц;
4 — 13,2...16,4 МГц;
5 — 17,5...22,0 МГц.

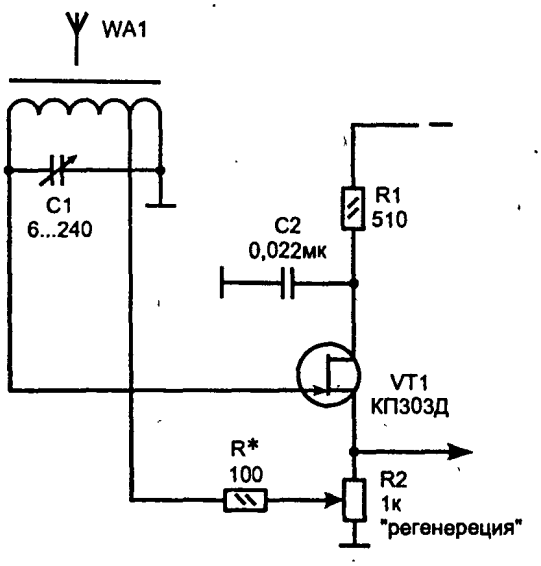


Рис. 11.25. Доработка приемника прямого усиления (рис. 11.17), превращающая его в регенератор

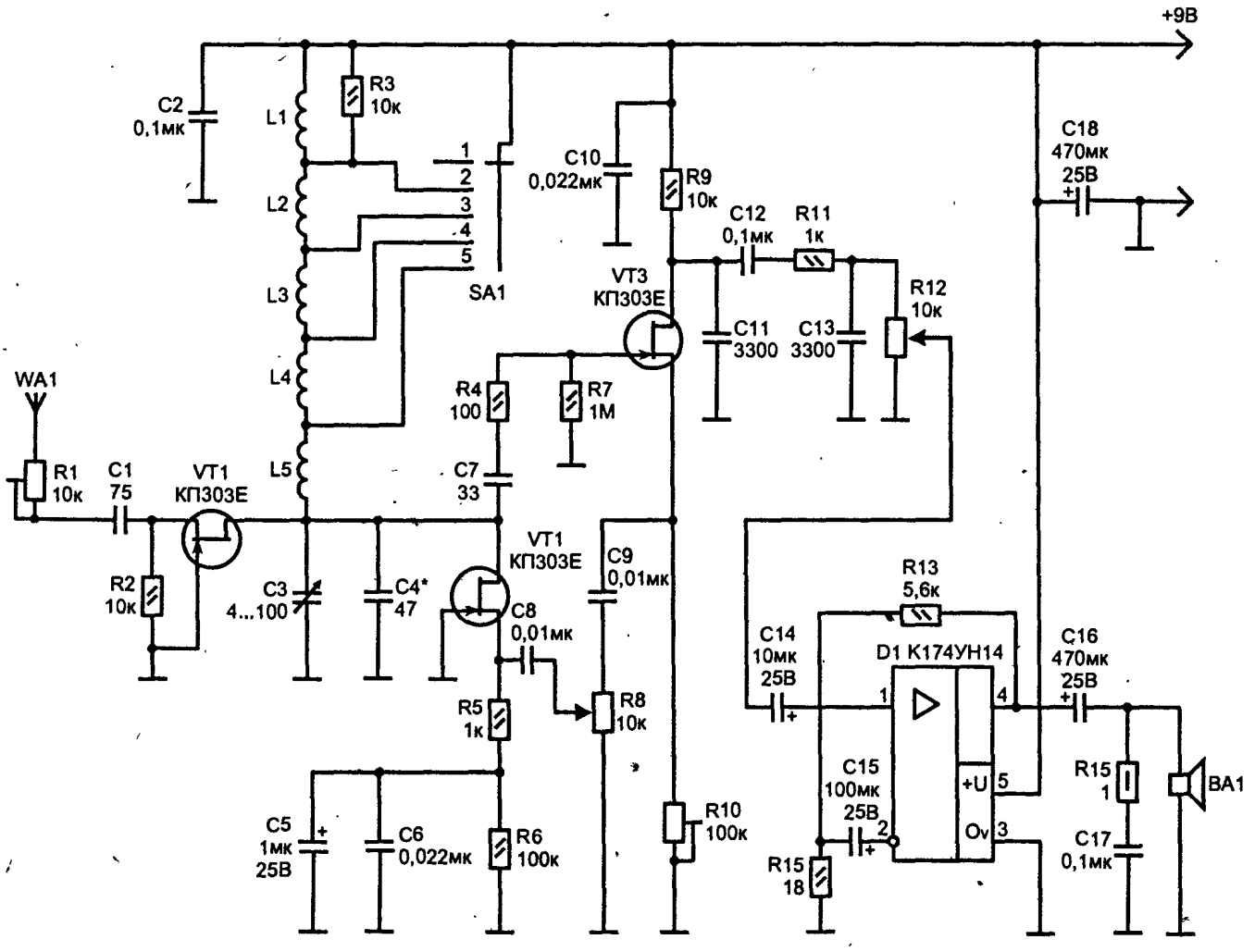


Рис. 11.26. Регенеративный приемник на базе MFJ-8100

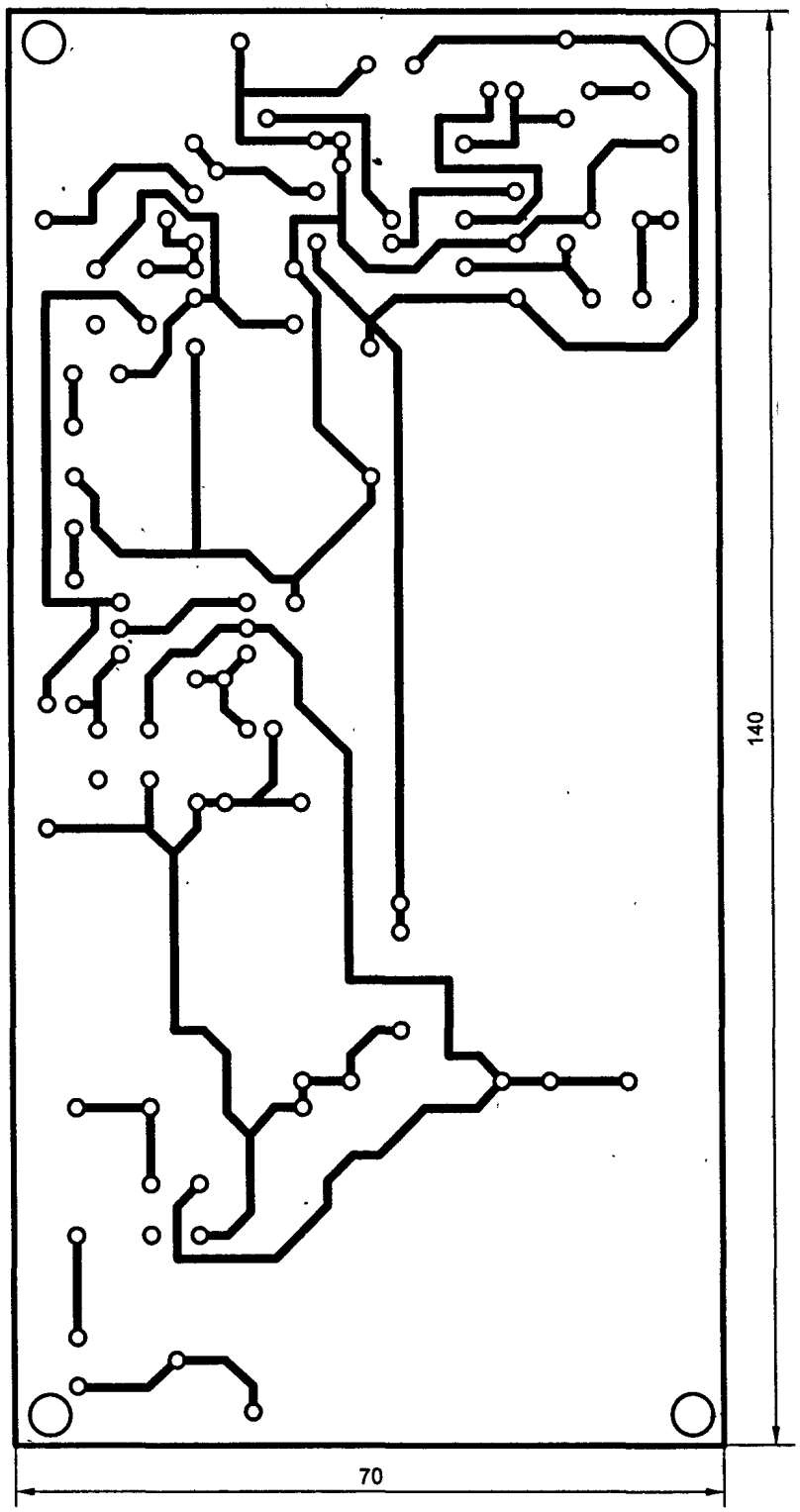


Рис. 11.27. Печатная плата

В приемнике нет встроенной магнитной антенны, а значит, необходимо использовать внешнюю (WA1). Подключать заземление необязательно. Предварительное усиление сигнала осуществляется УРЧ на транзисторе VT1, включенном по схеме с общим затвором. Резистор R1 регулирует степень связи с антенной, поэтому, изготовив и настроив приемник, нужно установить движок этого резистора в такое положение, в котором качество звука наилучшее, и далее уже его не трогать. В оригинальном наборе резистор R1 располагается на задней стенке корпуса.

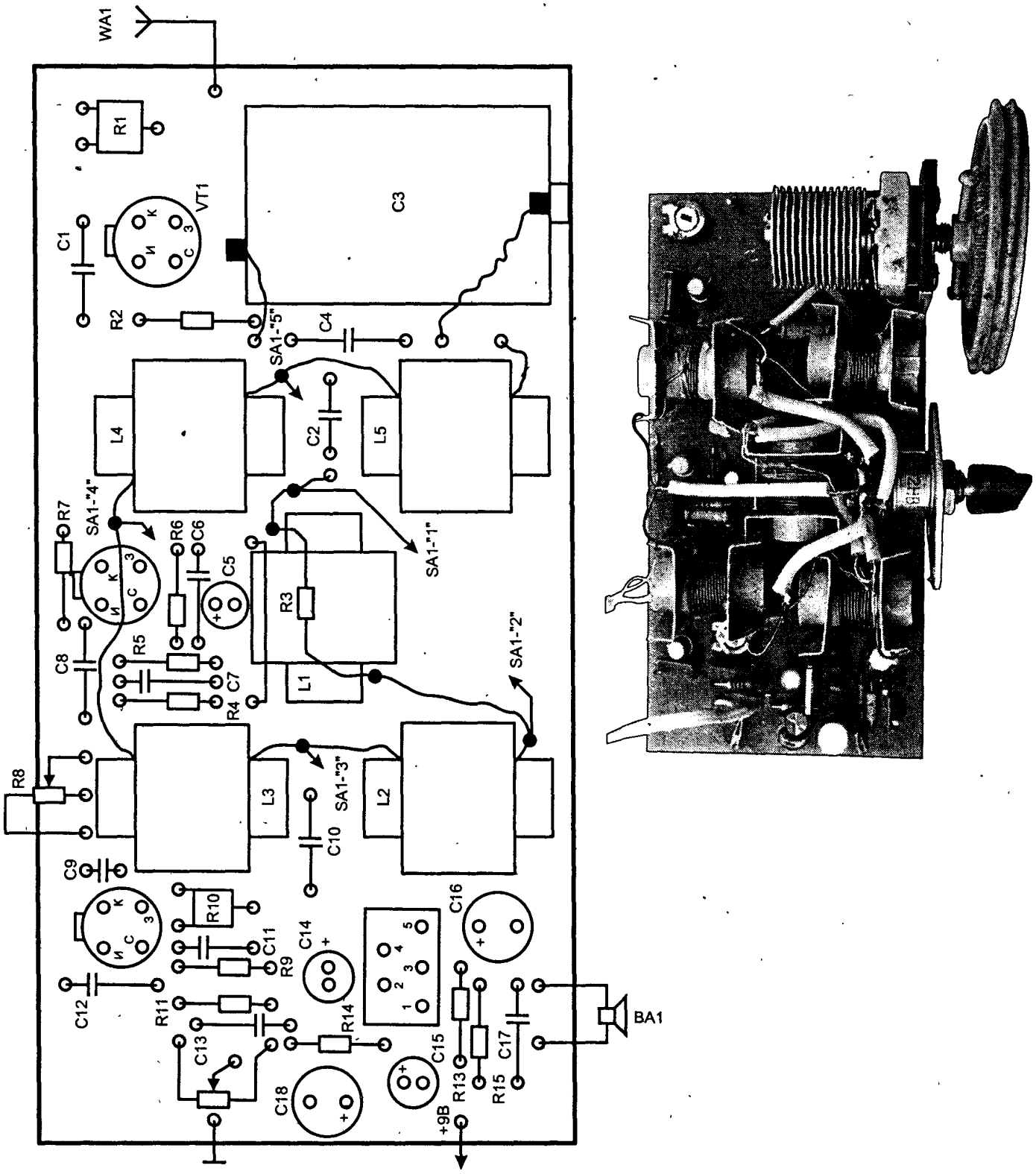


Рис. 11.28. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

Колебательный резонансный контур образован катушками L1...L5 и конденсаторами С3, С4. На первый взгляд контур оказывается незамкнутым, но это только на первый взгляд. Замыкается он конденсатором С2. Такая схемная реализация удобна тем, что один из выводов КПЕ С3 связан с «землей», а значит, будет меньше сказываться влияние собственной емкости тела человека.

Регенеративный узел собран на транзисторах VT2 и VT3. Регулятором «регенерация» в данном случае выступает резистор R8, а резистор R10 задействуется только в процессе настройки. Вращая его, нужно добиться, чтобы по всему

«ходу» резистора R8 не возникало возбуждения регенератора или возникало на самом краю «хода». Продетектированный сигнал снимается с резистора R9 и поступает на фильтр и регулятор громкости, собранный на элементах C11, C12, C13, R11, R12. Затем низкочастотный сигнал усиливается микросхемой D1 и преобразуется в звуковой сигнал динамической головкой BA1 с сопротивлением обмотки 4...8 Ом.

Питание приемника осуществляется от стабилизированного сетевого источника напряжением 9 В. Намоточные данные катушек приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1. Намоточные данные катушек

Катушка	Индуктивность, мкГн	Число витков
L1	10,0	34
L2	3,3	17
L3	1,0	12
L4	0,47	4
L5	0,85	8

Все катушки намотаны виток к витку на каркасах, склеенных из бумаги, диаметром 12 мм. Для намотки используется провод диаметром около 0,5...0,7 мм. Катушка L1 наматывается в два слоя, по 17 витков в слое; катушка L2 — также в 2 слоя (в первом слое 9 витков, во втором — 8), катушки L3, L4, L5 — однослойные. После намотки катушки следует пропитать парафином.

Печатная плата приемника приведена на рис. 11.27, а монтажная схема представлена на рис. 11.28. Проводники, идущие от катушек L1...L5 к переключателю SA1, должны быть минимальной длины. В качестве SA1 удобно использовать галетный переключатель серии ПГК. Неполярные конденсаторы должны быть керамическими, подстроечные резисторы R1, R8, R10 — непроволочными. Вместо транзисторов КП303Е допустимо использовать КП303Г, КП303Д, КП302А, КП364Е или импортный аналог J330.

На этой ноте закончим разговор о регенерации и перейдем к такому интересному техническому открытию, как сверхрегенерация. ■

Сверхрегенератор

В 1922 году Армстронг модифицировал регенеративный радиоприемник и открыл новый способ детектирования сигналов, в котором возможно даже при помощи одиночного каскада достигнуть усиления в миллион раз! Чтобы построить сверхрегенератор, нужно очень мало — ввести регенератор в режим возбуждения, то есть создать в нем собственные колебания. «Но позвольте! — воскликнет читатель. — Чуть выше было сказано, что режим генерации собственных колебаний противопоказан для радиоприема». Все правильно — для режима прямого усиления непрерывная генерация действительно противопоказана. А вот если ввести приемник в режим срыва генерации, когда начавши-

еся колебания периодически с не слишком высокой частотой будут срываться и возникать снова, можно наблюдать интереснейшие эффекты. Срыв генерации может осуществлять как дополнительный внешний генератор, так и пассивная цепочка, включенная в регенеративный каскад.

Но не будем торопить события, а вновь рассмотрим схему Мейсснера, несколько ее модифицировав (рис. 11.29). Мы ввели в схему источник периодического сигнала с частотой, много меньшей частоты принимаемого сигнала и, соответственно, собственной частоты колебательного контура LC. Пусть сначала сигнал, получаемый антенной, отсутствует. Тогда при положительном полупериоде напряжения G1 схема самовозбуждается и колебания начнут нарастать, а при отрицательном полупериоде — спадать, как показано на рис. 11.30. Мы получили пачки импульсов, заполненных колебаниями с частотой, равной собственной частоте контура.

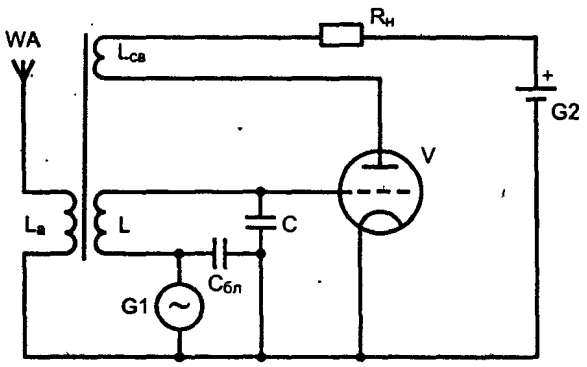


Рис. 11.29. Схема сверхрегенеративного приемника, основанного на генераторе Мейсснера

Теперь подадим на антенный вход сигнал. Если входной сигнал будет промодулирован, то начнется изменение анодного тока по закону модуляции, как показано на рис. 11.31. Чем больше амплитуда модулированного колебания в данный момент, тем дольше нарастание собственных колебаний. Осталось только сгладить острые пики и получить исходный сигнал.

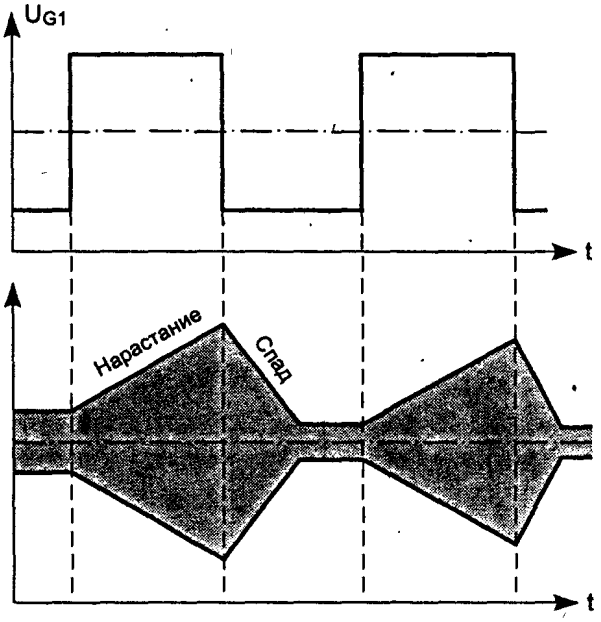


Рис. 11.30. Процессы, происходящие в сверхрегенераторе при отсутствии сигнала в антенне

Интересно отметить, что с помощью сверхрегенеративного каскада можно детектировать не только АМ-колебания, но и колебания ЧМ, немного расстроив входной контур относительно несущей. Тогда ЧМ-колебание на одном из скатов резонансной кривой контура будет преобразовываться в АМ — разные частоты передаются с разной амплитудой. При совпадении частоты настройки контура со средней частотой ЧМ-колебания (при отсутствии модулирующего сигнала) звука на выходе не будет — в окрестности центральной частоты характеристика контура слишком полога.

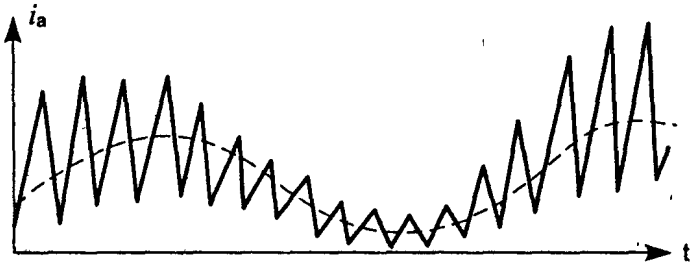


Рис. 11.31. Изменение анодного тока в сверхрегенераторе под действием внешнего модулированного колебания

Сверхрегенераторы сегодня встречаются намного чаще регенеративных схем. Например, любят использовать эту схему авиамоделисты — приемники радиоуправляемых моделей строятся в основном с применением сверхрегенераторов. Также можно увидеть сверхрегенераторы в канале автомобильной сигнализации. Почему они прижились лучше регенераторов? Во-первых, сверхрегенератор не имеет органов управления степенью регенерации — его настраивают один раз: при первоначальной регулировке. Во-вторых, сверхрегенератор чрезвычайно прост. В-третьих, он может отлично принимать цифровые данные, очень напоминающие телеграфный код.

А есть ли недостатки? Их тоже вполне достаточно для того, чтобы в технике радиовещательного приема сверхрегенерация стала лишь теоретически интересной возможностью преобразования радиочастот в звук. Во-первых, сверхрегенератор обладает широкой полосой пропускания, определяющейся добротностью контура, не охваченного обратной связью, — в сверхрегенераторе не работает закон умножения добротности. Из-за этого сверхрегенератор невозможно использовать в диапазоне КВ, так как плотность радиовещательных станций в нем высока. Во-вторых, в отсутствие внешнего сигнала в сверхрегенераторе слышен характерный шипящий «примусный» звук, вызванный тепловым движением электронов. В-третьих, сверхрегенератор сам излучает в окружающее пространство электромагнитные волны и становится источником помех — ведь он генерирует колебания! В-четвертых, качество звука на выходе сверхрегенератора очень низкое, имеет «хрипяще-шипящий» характер, что не позволяет использовать его для высококачественного радиоприема. Но сверхрегенератор с успехом находит применение в технике портативной связи, где не нужно заботиться о качестве звука, важно лишь, чтобы слова были разборчивы. В-пятых, сверхрегенератор очень чувствителен к стабильности напряжения питания.

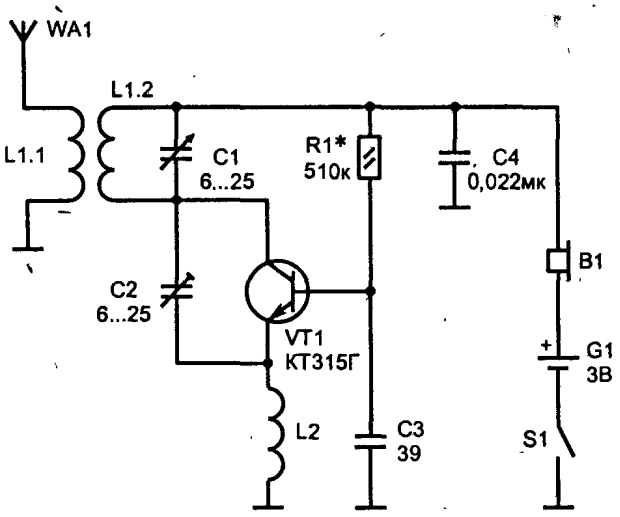


Рис. 11.32. Схема простого сверхрегенератора УКВ диапазона

Если вы не слишком разочаровались в сверхрегенераторе после этих слов, мы предлагаем попробовать сверхрегенеративную схему на практике. Надо сказать, что многие радиолюбители оценивают качество звука сверхрегенеративного приемника как вполне удовлетворительное и достаточное для прослушивания не только речевых, но и музыкальных передач.

Схема первого — простейшего — сверхрегенеративного приемника, рассчитанного на прием станций УКВ-диапазона, приведена на рис. 11.32. Антенна WA1 в данном случае может представлять собой отрезок медного провода длиной 0,5...1 м. Чувствительности схемы вполне хватит для приема УКВ-станций на расстоянии до 50...70 км. Антенна с помощью катушки L1.1 индуктивно связана с селективным контуром L1.2—C1. Конденсатор C1 желательно выбрать с воздушным диэлектриком, например 1КПВМ-1, так как керамический вариант прослужит меньше. В крайнем случае допустимо использовать подстроечный

керамический конденсатор типа КПК-1, КПК-М, КТ4-23, припаяв к винту настройки медную трубочку подходящего диаметра, как показано на рис. 10.33. На конец трубочки необходимо насадить диэлектрическую ручку или обернуть ее несколькими слоями изоленты для исключения влияния емкости тела на схему. Конденсатор С2, устанавливающий режим возбуждения сверхрегенератора, можно использовать любого типа и без доработки.

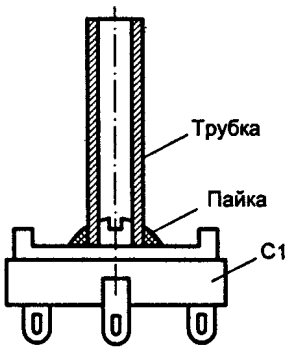


Рис. 11.33. Вариант доработки подстроечного керамического конденсатора

Намоточные данные катушек: L1.1 содержит 9 витков, L1.2 — 6 витков провода типа ПЭВ-2, ПЭТВ диаметром 0,5 мм, L2 — 25 витков того же провода диаметром 0,2...0,25 мм. Внешний диаметр каркаса катушек составляет 6,5 мм. Телефонный капсюль В1 должен иметь сопротивление порядка 1...2 кОм.

Приемник смонтирован на плате из фольгированного стеклотекстолита (гетинакса). Печатная плата приемника показана на рис. 11.34, сборочный чертеж — на рис. 11.35.

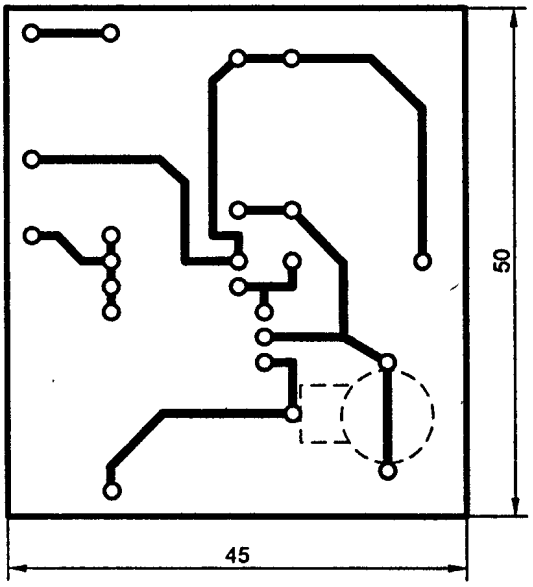


Рис. 11.34. Печатная плата

Настройка его сводится к установке границ диапазона (64...110 МГц) растяжением и сжатием витков катушки L1.2, а также к установке режима самовозбуждения с помощью конденсатора С2. При правильной настройке в телефоне В1 должен быть слышен равномерный шум в промежутках между станциями. Границы диапазона удобно устанавливать по промышленному радиоприемнику, одновременно прослушивая радиопередачу в том и в другом приемниках. Качество звука можно улучшить, подобрав в небольших пределах сопротивление резистора R1.

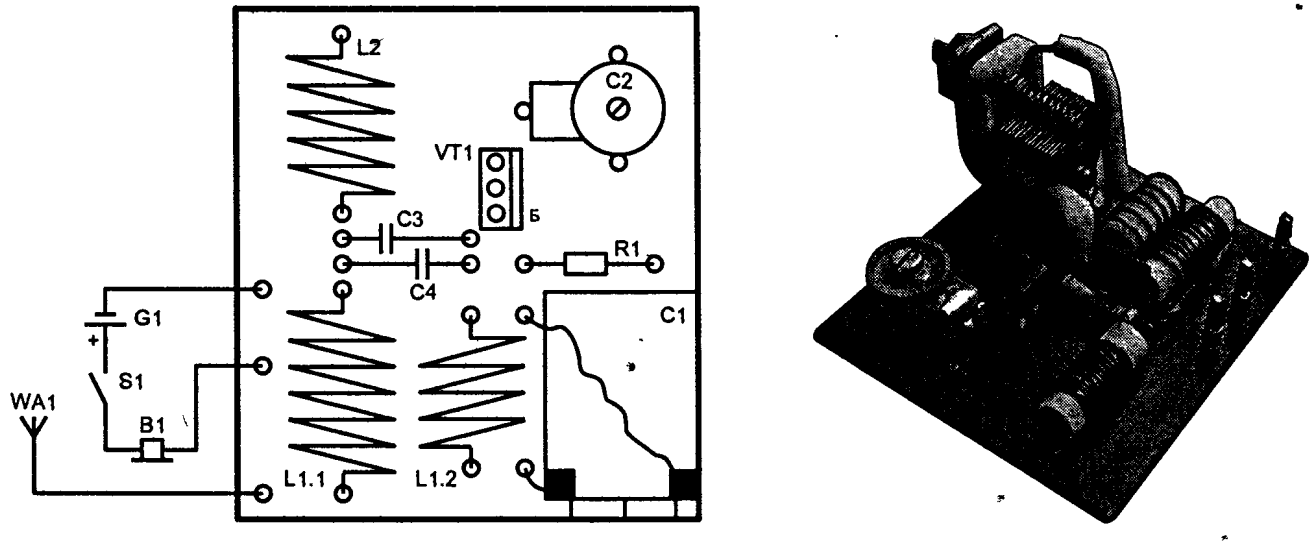


Рис. 11.35. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

Схема второго сверхрегенеративного приемника, приведенная на рис. 11.36, разработана радиолюбителем **Ч. Китчиным** (позывной в любительском эфире N1TEV) и имеет высокие показатели чувствительности, качества звука. Приемник используется для приема радиовещательных станций в УКВ диапазоне, но на него можно принимать и узкополосные станции радиолюбителей, работающих в диапазоне 144 МГц. Детектирование осуществляется на одном из скатов резонансной характеристики входного контура. Настроить этот приемник также несложно.

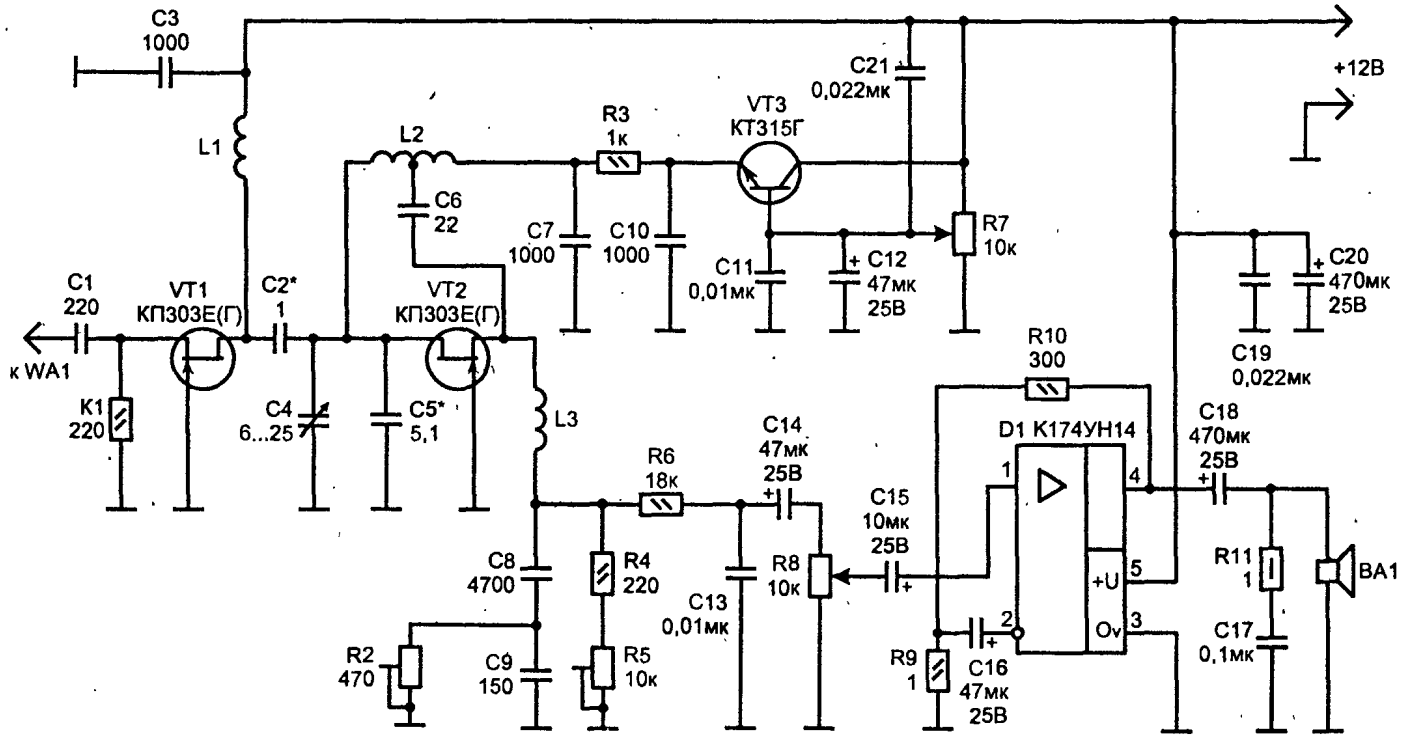


Рис. 11.36. Сверхрегенератор для приема УКВ ЧМ радиопередач (схема Ч. Китчина)

Входной каскад, построенный на основе полевого транзистора с управляющим p-n-переходом VT1, выполнен по схеме с общим затвором. Как мы знаем, такое включение обеспечивает усиление сигнала только по напряжению, имеет низкое входное сопротивление, согласующее каскад с антенной. Высокое выходное сопротивление минимально нагружает контур, в котором осуществляется сверхрегенерация, и способствует повышению его добротности. Катушка индуктивности L1 служит нагрузкой входного усилителя. В данной схеме ее индуктивность составляет 15 мкГн, но номинал может отличаться от указанного в 2—3 раза, так как резонансный эффект здесь не используется.

Сверхрегенеративный детектор собран на транзисторе VT2. Сигнал на него поступает через конденсатор малой емкости — С2. Если не удастся найти такой конденсатор, можно изготовить его самостоятельно, скрутив между собой два проводника диаметром 0,15...0,33 мм из провода ПЭВ-2, ПЭТВ. Длина проводников должна быть порядка 25 мм. Конденсаторы С4, С5 и катушка L2 образуют колебательный контур, настраиваемый конденсатором С4 в резонанс с принимаемым сигналом. Высокочастотная составляющая сигнала резонансного контура замыкается через конденсатор С7. Конденсатор С6 — элемент положительной обратной связи (ПОС). Элементы С8, С9, R2, R4, R5 — цепь автомати-

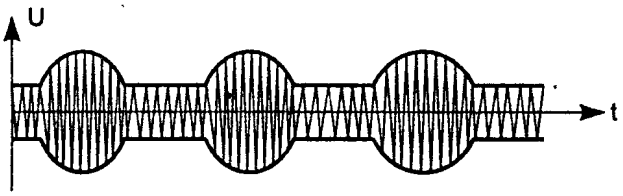


Рис. 11.37. Форма гасящих импульсов в сверхгенераторе Ч. Китчина

ческого гашения колебаний сверхрегенеративного каскада. Частота гашения устанавливается элементами C8, R4, R5 и может быть подрегулирована резистором R5 при настройке для получения наилучшего качества звука. Элементы R2, C9 обеспечивают форму гасящих импульсов, близкую к синусоидальной (рис. 11.37). Как показывают результаты экспериментов, проведенных разработчиком этой схемы, такая форма импульсов повышает селективные свойства и вносит минимальные искажения в звуковой сигнал. Форму гасящих импульсов нужно устанавливать резистором R2 «на слух». Дроссель L3 не позволяет проникать высокочастотной составляющей генерации на выход детектора. Его величина индуктивности также некритична и в описываемой схеме составляет 15 мкГн.

Цепочка R6, C13 — простейший фильтр низких частот (ФНЧ), выделяющий звуковой сигнал. Резистор R8 — регулятор громкости. На микросхеме DA1 построен УНЧ. Эту схему вы уже встречали по ходу чтения книги. Каких-либо особенностей она не имеет. При желании настроить подходящий уровень громкости в верхнем (по схеме) положении движка резистора R8 нужно подобрать величину R10. Увеличение этого резистора увеличивает общий коэффициент усиления микросхемы.

Очень важный каскад выполнен на элементах VT3, R3, R7, C10, C11, C12. Как вы помните, степень регенерации в значительной степени зависит от напряжения питания регенеративного каскада. В качественном сверхрегенеративном приемнике необходимо подстраивать степень регенерации, поскольку детектирование осуществляется на одном из скатов резонансной кривой. Чем «круче» будет скат, тем большую громкость звука удастся получить. Однако слишком большая **крутизна** ската внесет искажения — проявится ее нелинейный характер. Учитывая это, в приемник была введена регулировка регенерации, построенная на основе управляемого источника напряжения на транзисторе VT3. Резистор R7 желательно использовать многооборотный для плавности настройки. Транзистор VT3 включен эмиттерным повторителем.

Особое внимание читателя хочется обратить на катушку L2 (рис. 11.38). Она выполняется без сердечника, способом намотки на оправке диаметром 6 мм. Количество витков провода ПЭВ-2 или ПЭТВ диаметром 0,5 мм — 3,5. После намотки катушку следует растянуть так, чтобы ее длина между крайними выводами составила порядка 25 мм. Середину катушки необходимо зачистить от лака и припаять к этой точке конденсатор C6. Длину свободных крайних выводов рекомендуется оставить 18 мм. В качестве катушек L1 и L3 можно использовать дроссели серии ДМ или ДПМ, а также импортные аналоги (индуктивностью 10...20 мкГн).

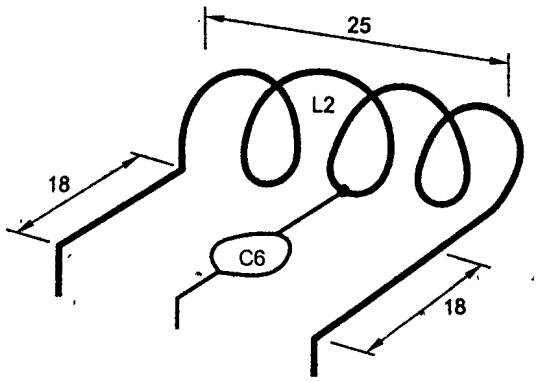


Рис. 11.38. Конструкция катушки L2

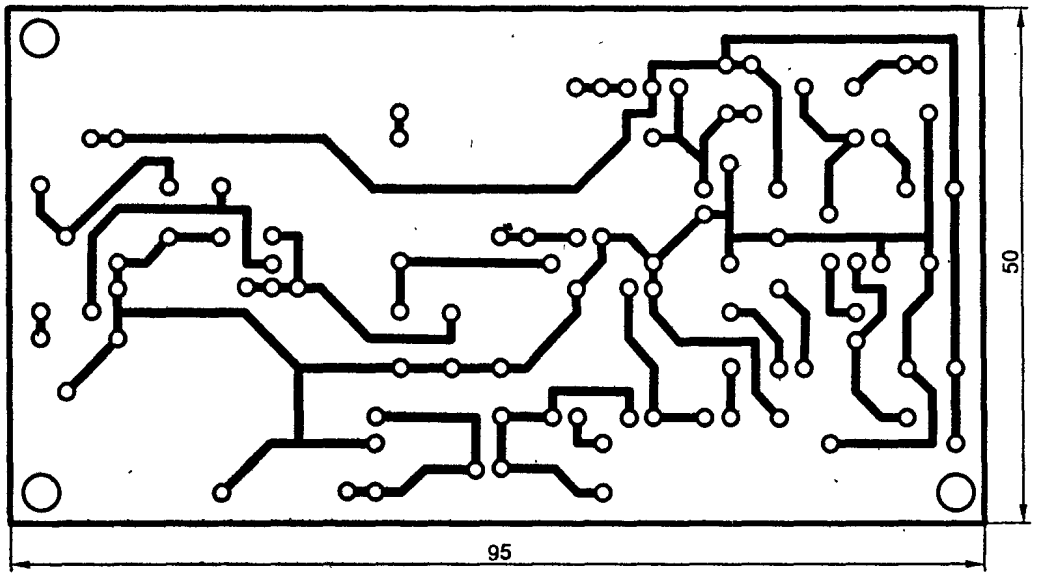


Рис. 11.39. Печатная плата

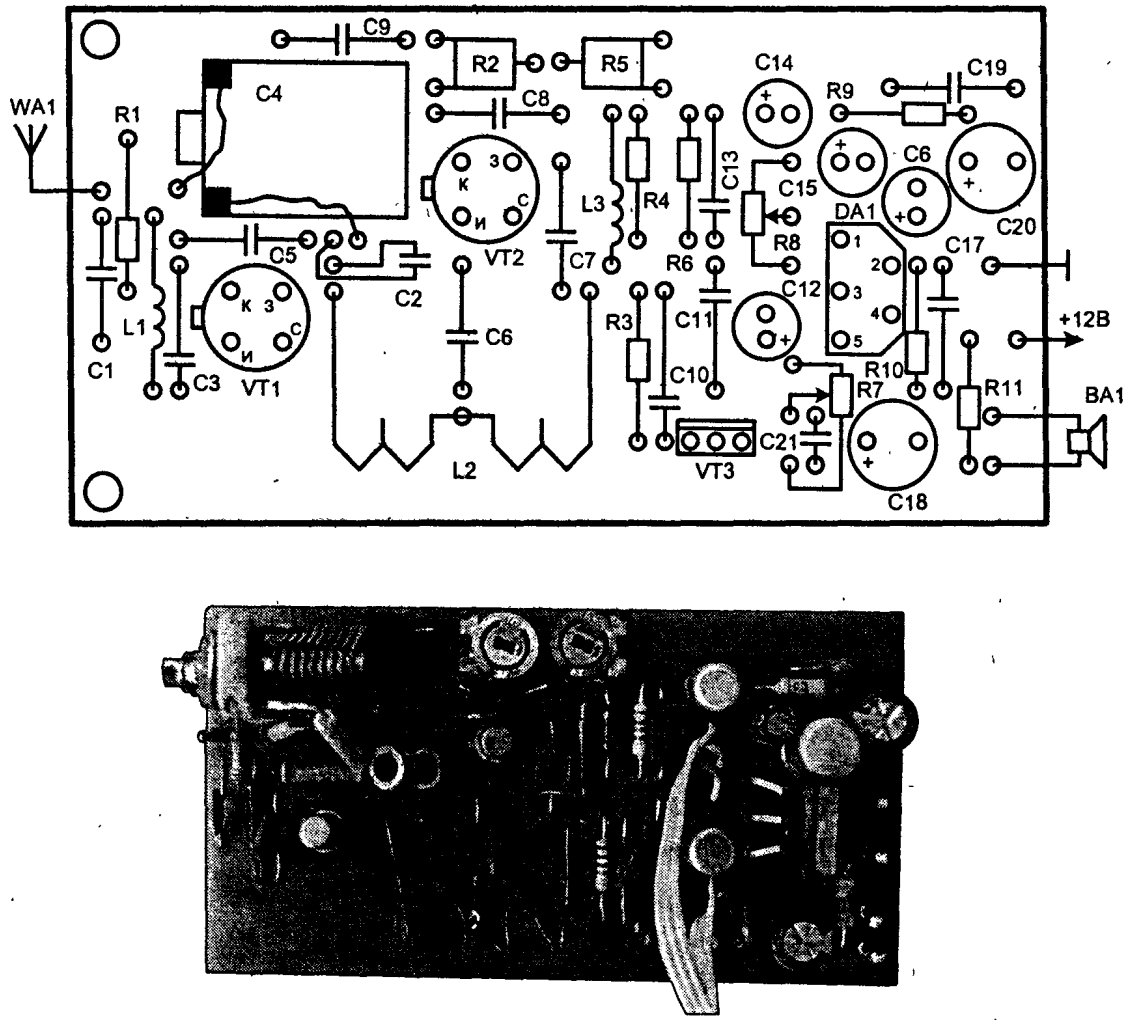


Рис. 11.40. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

Монтаж приемника лучше всего осуществлять на двухсторонней печатной плате, у которой одна сторона сохранена полностью, а другая — содержит «пятачки» для пайки элементов. Естественно, должны быть просверлены отверстия для «общего проводника», которым выступает полностью сохраненная сторона.

Печатная плата приемника показана на рис. 11.39, сборочный чертеж — на рис. 11.40.

Настраивать приемник нужно, предварительно подобрав величину конденсатора С5 до установки границ диапазона УКВ при перестройке конденсатором С4. Звук в этот момент может быть каким угодно. Затем, отрегулировав максимально возможное качество звука резистором R7, резисторами R2 и R5, добиться улучшения качества звука. Приемник настроен. Его можно поместить в подходящий корпус, вывести на переднюю панель оси С4, R7, R8. Катушку L2 желательно максимально удалить от металлических предметов, так как любой металлический предмет влияет на резонансную частоту контура. ■

Приемник прямого преобразования

Этот вид радиоприемников очень популярен у радиолюбителей, ведь при весьма простой реализации он позволяет добиться высоких показателей селективности и чувствительности. Кроме того, приемник прямого преобразования не нуждается в постоянной подстройке уровня регенерации, так как построен он не по принципу прямого усиления сигнала, а с использованием методов **частотного преобразования сигналов**. Чтобы понять, как работает приемник прямого преобразования, или **гетеродинный приемник**, как его по-другому называют, обратим внимание на рис. 11.41.

Мы опять видим знакомый детекторный приемник, правда, несколько модернизированный. В контур введен генератор гармонического (синусоидального) колебания G, называемый **гетеродином**. Имеется также нелинейный элемент — полупроводниковый диод VD. Наличие нелинейности — принципиально важный момент для гетеродинного приемника, так как только нелинейный элемент может осуществлять преобразование сигналов. Чтобы показать, как это преобразование осуществляется, заглянем в школьный курс тригонометрии.

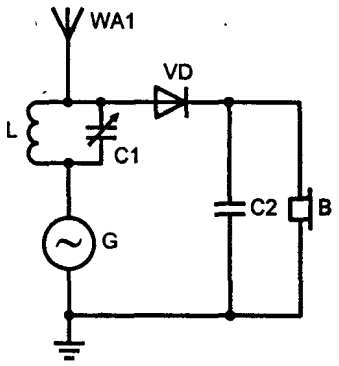


Рис. 11.41. К пояснению работы гетеродинного радиоприемника

Для простоты будем считать, что приемник получает из антенны гармонический сигнал, который математически можно записать так:

$$U_a = U_{am} \cos(2\pi f_a)t,$$

где U_{am} — амплитуда сигнала, получаемого из антенны;

f_a — частота принимаемого сигнала.

Генератор G создает другой синусоидальный сигнал, который записывается так:

$$U_G = U_{Gm} \cos(2\pi f_G)t,$$

где U_{Gm} — амплитуда сигнала, получаемого от генератора;

f_G — частота сигнала генератора.

Оба сигнала, складываясь, воздействуют на нелинейный элемент — полупроводниковый диод — и в результате на конденсаторе С2 выделяется сигнал, который можно записать в виде:

$$U_{C2} = \frac{1}{2} k U_{am} U_{Gm} [\cos 2\pi(f_a - f_G)t + \cos 2\pi(f_a + f_G)t],$$

где k — коэффициент пропорциональности, характеризующий качество преобразования.

Замечаем, что выходной сигнал будет содержать как очень высокую частоту — суммарную, складывающуюся из частоты гетеродина и несущей сигнала, так и низкую, состоящую из разности этих частот.

Здесь, чтобы понять процессы, происходящие в гетеродинном приемнике, сделаем небольшое отступление и разберемся в **спектрах** модулированных колебаний.

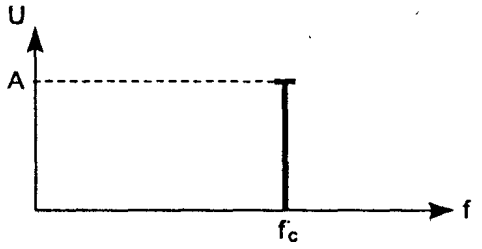


Рис. 11.42. Вид синусоидального сигнала в частотной области (спектр)

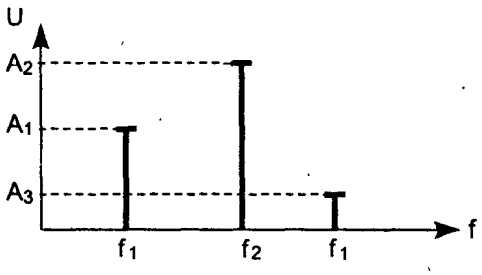


Рис. 11.43. Спектр трех синусоидальных сигналов

Помните, мы не раз уже говорили о том, что любой сигнал можно схематически изобразить как во временной, так и в частотной системах координат. Сейчас вы без труда изобразите синусоидальный сигнал во временной области — это «змейка», колеблющаяся относительно горизонтальной оси. А вот как выглядит этот же синусоидальный сигнал в частотной области? Удивительно, но — очень просто! Взгляните на рис. 11.42. Сигнал показан вертикальной палочкой, размер которой равен амплитуде сигнала и расположенной на частоте f_c — частоте сигнала.

Все довольно просто, когда в электрической цепи мы наблюдаем одиночный синусоидальный сигнал. А если в этой цепи имеется несколько разночастотных синусоидальных сигналов? Рассмотреть их во временной области «в лоб» мы не сможем — увидеть удастся только малопонятное их переплетение. Выручит информация, представленная в частотной области, — **спектр сигналов**. На рис. 11.43 показан спектр трех синусоидальных сигналов с разными частотами и амплитудами. Примерно так же выглядит распределение сигналов радиостанций в эфире. Чтобы выделить нужный сигнал на фоне мешающих, нужно «вырезать» его из всего спектра фильтром, роль которого в простейшем случае выполняет одиночный колебательный контур или регенеративный каскад. На рис. 11.44 видно, что с помощью операции **селекции** частота f_2 будет принята, а соседние частоты — нет. Чтобы принять частоту f_1 или f_3, нужно перестроить фильтр на желаемую частоту. Из сказанного внимательный читатель может сделать справедливый вывод, что слишком широкая резонансная кривая может захватить и соседние — мешающие — частоты. Значит, нужно делать

селективную кривую как можно острее, тогда и качество приемника будет лучше. Все правильно, но до определенного момента. Если читатель не только листал страницы этой главы, лежа на уютном диване, но еще и работал руками, изготавливая и налаживая радиоприемники, он наверняка заметил, что регенеративный приемник не может обеспечить хорошее качество звука при слишком большой степени регенерации, — звук становится неестественным, «бубнящим». Почему?

Действительно, есть смысл повышать добротность резонансного контура при приеме синусоидальных сигналов, что и используется в специальных приборах для изучения спектров сложных сигналов — **селективных вольтметрах**. Сигнал радиовещательной или связной радиостанции в отсутствие передачи действительно представляет собой в частотной области одиночную вертикальную **дискрету**. Но слушателю неинтересно принимать высокочастотные сигналы — он хочет слышать звуки. Для этого, как мы уже отлично знаем, сигнал несущей модулируют. И вот здесь картина резко меняется! Допустим сначала для простоты, что модуляция типа АМ осуществляется синусоидальным сигналом частоты F, который лежит в звуковой области. Спектр АМ-колебаний в этом случае будет выглядеть так, как показано на рис. 10.45. Мы увидим дискрету несущей частоты (f_0) и еще две составляющие с частотами (f_0 − F) и (f_0 + F). Эти частоты называются **нижней** и **верхней боковыми полосами** спектра АМ-колебания. «А нельзя ли «обрезать» боковые полосы при приеме?» — спросит читатель. Нет, нельзя! Как только мы «забудем» хотя бы про малую толику любой из спектральных составляющих АМ-колебания, мы исказим сигнал во временной области. Поэтому в простых радиоприемниках делают так, чтобы все составляющие принимаемого сигнала попадали в полосу резонансного контура.

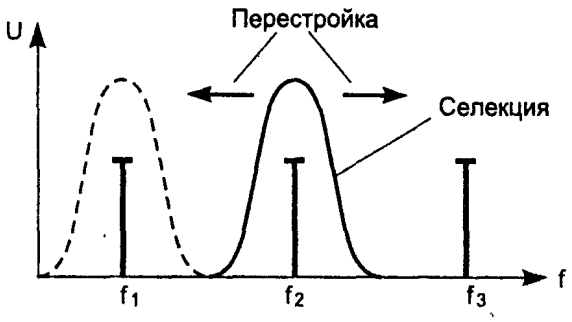


Рис. 11.44. Выделение нужного сигнала из спектра

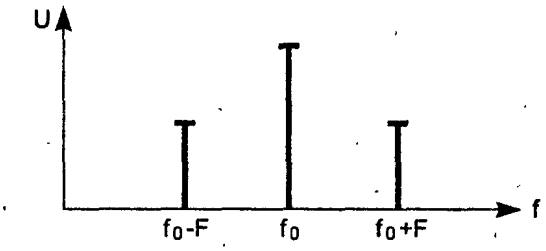


Рис. 11.45. Спектр АМ колебания при модуляции синусоидальным сигналом с частотой F

Модуляция синусоидальным сигналом звуковой частоты используется в радиотелеграфии. С помощью таких сигналов удобно вести работу «морзянкой». Звуковые же сигналы намного сложнее. Они не повторяются во временной области, содержат множество частот, и при их представлении в частотной области рисовать дискреты уже не получится. Звуковой сигнал имеет **непрерывный спектр**, показанный на рис. 11.46. Более того, вершина этого спектра постоянно «дышит» — меняется ее форма, подобно тому, как прыгают столбики на пульте профессионального звукооператора. Что же делать, как описать такой сигнал, как обеспечить его качественную передачу? Тоже очень просто! Достаточно обеспечить в передающем устройстве возможность пропускания

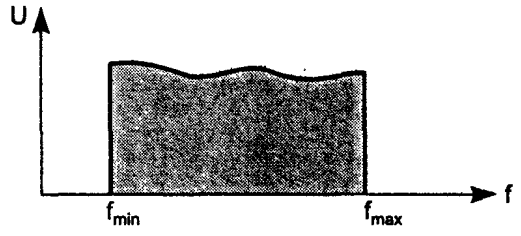


Рис. 11.46. Спектр звуковых сигналов

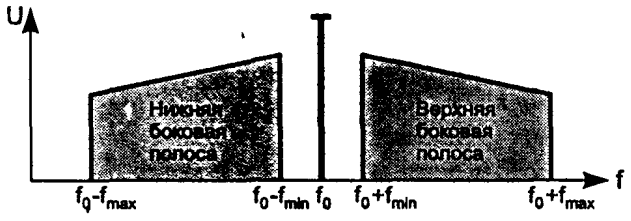


Рис. 11.47. Спектр АМ-колебания при модуляции звуковым сигналом

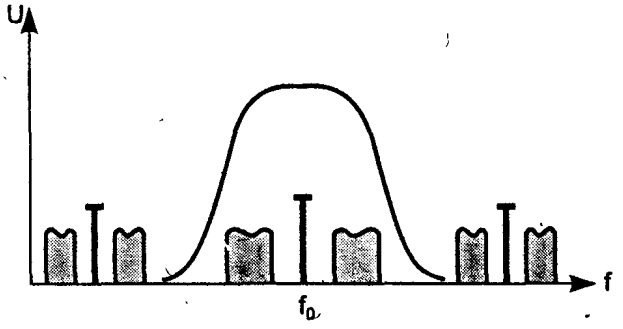


Рис. 11.48. Прием спектра АМ колебания

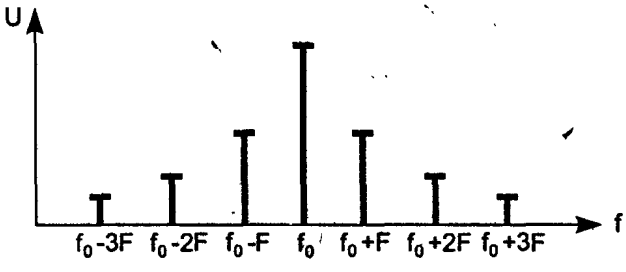


Рис. 11.49. Спектр ЧМ-колебания, модулированного синусоидальным сигналом F

частот от десятка герц до десятка килогерц, и весь сигнал «уйдет» в эфир. Структура спектра АМ-колебания, модулированного звуковым сигналом, показана на рис. 11.47. Прием такого АМ-колебания сопровождается требованием определенной ширины селективной кривой приемника, как показано на рис. 11.48.

ЧМ-модуляция по своему частотному представлению сложнее АМ-модуляции. Мы не будем подробно углубляться в особенности этих спектральных характеристик, скажем лишь, что ЧМ-колебания требуют для своего приема более широкие полосы пропускания входных каскадов радиоприемников. На рис. 11.49 показан спектр ЧМ-колебания при модуляции синусоидальным сигналом. Как и раньше, мы видим частоту несущей (f_0) и две боковые полосы, однако, кроме составляющих (f_0 − F) и (f_0 + F), появляются и составляющие (f_0 − 2F), (f_0 − 3F), (f_0 + 2F), (f_0 + 3F), называемые **побочными гармониками**. Число побочных гармоник в значительной степени зависит от соотношения максимальной и минимальной частот несущей при модуляции...

Итак, возвращаемся к работе гетеродинного приемника. Допустим, мы установили частоту гетеродина, равной частоте несущей. Тогда на выходе приемника появятся суммарная и разностная оставляющие — таким методом можно «переносить» частотный спектр из одной области в другую (рис. 11.50). Как мы и говорили, остается только отфильтровать сигнал простейшим ФНЧ, и мы получим звуковые колебания.

Почему в звуковой области совпали верхняя боковая и нижняя боковая полосы? Очень просто: теоретически нижняя боковая полоса попадает в область отрицательных частот, чего, конечно, в реальной жизни не бывает. Поэтому она отображается относительно вертикальной координатной оси, накладываясь

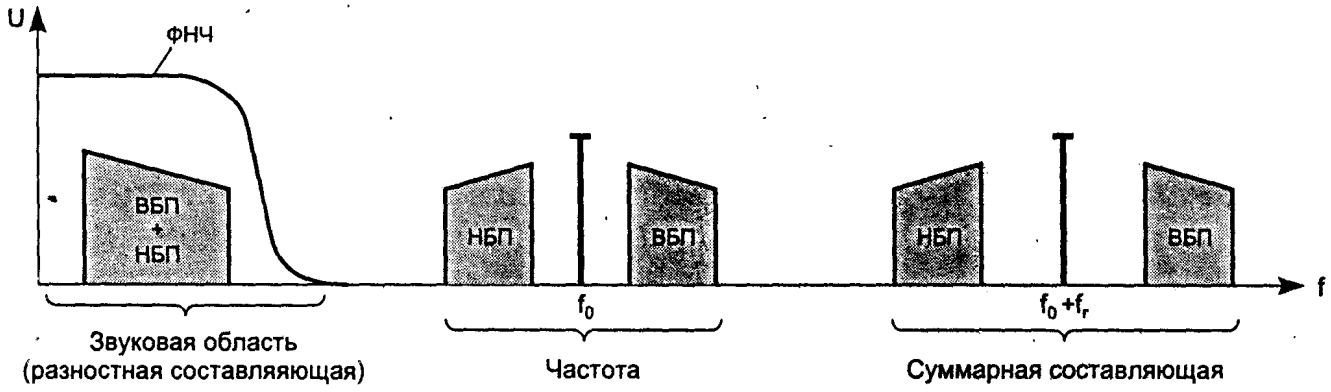


Рис. 11.50. Операция переноса спектра в гетеродинном приемнике

на верхнюю боковую полосу. Обе боковые полосы идентичны друг другу, поэтому теоретически при наложении не должно происходить никаких неприятных эффектов.

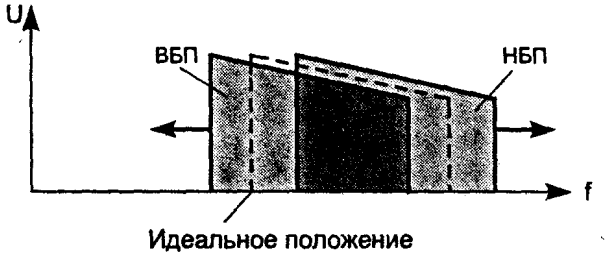


Рис. 11.51. Неидеальное положение боковых полос вследствие отличия частоты гетеродина от частоты несущей

Теоретически! А практически неприятные эффекты происходят. Давайте вначале изучим их источник, потом опишем, и в конце разберемся, как с ними бороться. Верхняя боковая и нижняя боковая полосы идеально накладываются друг на друга только в случае полного совпадения частоты несущей и частоты гетеродина, причем такое совпадение, когда равны не только частоты но и одинаковы фазы колебаний. В противном случае ВБП и НБП «разъедутся» так, как показано на рис. 11.51. При большом расхождении частот может появиться характерный «свист» на частоте, равной разнице между гетеродинной и частотой несущей. При небольшом расхождении свист пропадает, но появятся **биения** боковых полос, когда сигналы очень близких частот будут то складываться, то вычитаться. Выходной звуковой сигнал окажется вновь промодулированным разностной частотой гетеродина и несущей, в результате — сильно искаженным на слух. Читатель может сразу же предложить способ борьбы с этими эффектами, устанавливая частоту гетеродина, в точности равной частоте несущей. Едва ли такое удастся осуществить в реальных приемниках, так как, во-первых, частота несущей немного меняется вследствие нестабильности задающего генератора передатчика, во-вторых, имеется нестабильность гетеродина (тепловая, по питанию, временная), в-третьих, невозможно совместить фазы независимых сигналов и поддерживать стабильно-фазовое состояние неограниченно долго. Что же делать?

Логика дальнейших размышлений приводит к простому решению: нужно каким-то образом сделать так, чтобы сигнал гетеродина автоматически управлялся — **синхронизировался** — сигналом несущей, тогда все неприятные эффекты будут исключены. Такой приемник имеет название **синхронный гетеродинный приемник**. Синхронизировать гетеродинный сигнал можно двумя способами: во-первых, выделив в чистом виде сигнал несущей, усилив его и подав на специальную схему синхронизации, называемую схемой **фазовой автоподстройки**

частоты (ФАПЧ). Способ довольно сложный для начинающего радиолюбителя, если собирать приемник без применения интегральных микросхем. Но, к счастью, существует и другой, намного более простой способ синхронизации, связанный с интересным явлением, называемым **прямым захватом частоты**. Прямой захват частоты тесно связан с упомянутым нами явлением биений близких частот. Сильные сигналы могут влиять на слабые сигналы с близкими частотами таким образом, что через некоторое (непродолжительное) время слабый сигнал будет иметь такую же частоту и фазу, что и сильный сигнал. Синхронный приемник с прямым захватом частоты вполне доступен для изготовления начинающими радиолюбителями, поэтому чуть ниже мы приведем его схему и рекомендации по сборке.

Что еще можно предложить для исключения неприятных эффектов? Есть вариант подавления одной из боковых полос при переносе спектра. Тогда в звуковую область будет попадать только одна полоса и биения частот не проявятся. Данный тип приемников тоже используется радиолюбителями. Он называется **однополосным**.

Интересный вариант радиолюбительского гетеродинного приемника с прямым захватом частоты для приема УКВ ЧМ станций появился в середине 80-х гг. XX в. Его разработал радиолюбитель **А. Захаров** из г. Краснодара [1], [2], [3] и усовершенствовал в плане повышения селективности минский радиолюбитель **М. Сапожников** [4]. В конструкции, приводимой в этой книге (рис. 11.52), за основу взяты идеи именно этих радиолюбителей.

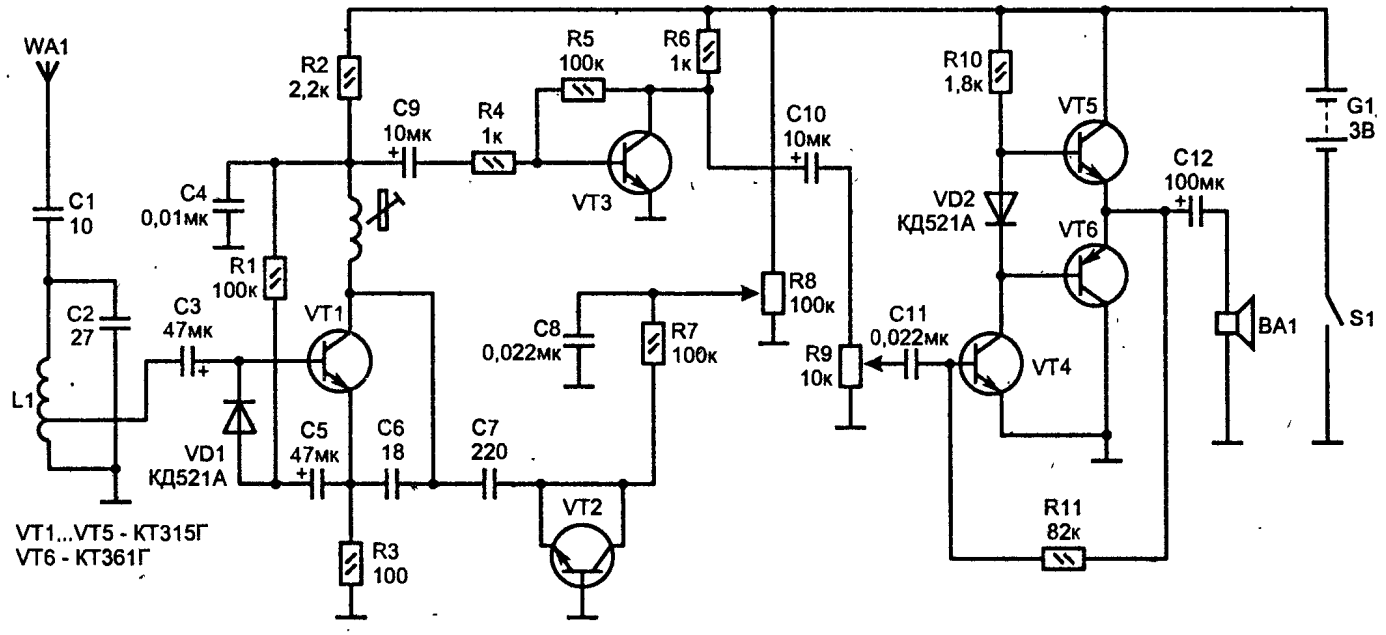


Рис. 11.52. Гетеродинный приемник с прямым захватом частоты

Антенна WA1 представляет собой отрезок медного провода длиной 1,0...1,5 м. Сигнал с антенны через разделительный конденсатор C1 поступает на резонансный контур L1C2, который формирует селективную кривую приемника. Средняя частота этого контура принята равной 70 МГц. Перестраивать его при перестройке приемника особого смысла нет, так как этот контур широкополосен. Гетеродин приемника построен на транзисторе

VT1. Самовозбуждение гетеродина обеспечивается конденсатором С6, представляющим собой элемент обратной связи. Нужная частота возбуждения гетеродина задается резонансным контуром L2, С4, С7, VT2. Читателю, вероятнее всего, непонятно, какую роль выполняет в контуре транзистор VT2, включенный необычно — при соединенных коллекторе и эмиттере. Вспомним, что коллекторный и эмиттерный переходы транзистора представляют собой полупроводниковые диоды. В таком включении транзистор превращается в два диода, соединенных параллельно и смещенных обратно благодаря напряжению, подводимому через резистор R7. Напряжение смещения может регулироваться резистором R8. Зачем? Помните, когда мы рассказывали о таких замечательных элементах, как варикапы, мы упомянули возможность их использования для настройки радиоприемников. В качестве варикапа в радиолюбительских конструкциях вполне можно применять полупроводниковые диоды или транзисторы в диодном включении. Величина барьерной емкости регулируется подачей обратного смещения.

Диод VD1 улучшает селективность приемника, не позволяя мощным помехам прямо детектироваться на эмиттерном переходе транзистора VT1. Конденсатор С4 и резистор R2 представляют собой простейший ФНЧ для выделения звукового сигнала. На транзисторе VT3 построен предварительный усилитель низкой частоты, резистор R9 — регулятор громкости. Транзисторы VT4...VT6 — элементы двухтактного усилителя мощности.

В конструкции приемника неполярные конденсаторы должны быть керамическими любого типа, полярные — также любого типа, например, К50-6, К50-16, К50-29, К50-35, К50-68 или импортные аналоги. Катушка L1 наматывается на оправке диаметром 5 мм проводом типа ПЭВ, ПЭЛ, ПЭТВ. Диаметр провода — 0,5 мм, шаг намотки — 1 мм, количество витков — 5. Отвод сделан от второго (нижнего по схеме) витка. После намотки оправку нужно извлечь. Катушка L2 состоит из 9 витков того же провода диаметром 0,2...0,3 мм, намотанных на каркас диаметром 6 мм. Подстроечный сердечник катушки L2 нужно изготовить из алюминиевого прутка диаметром 5 мм и длиной 20 мм. Можно нарезать на этом прутке резьбу, шлиц и вворачивать подстроечник в каркас. Динамическая головка BA1 — типа 0,5ГДШ-4 или 0,25ГДШ-3. Подойдут также динамические головки от головных телефонов отслуживших плееров. Переменные резисторы — любого типа. В качестве резистора R8 желательно использовать многооборотный вариант типа СП3-38 или СП5-1б, чтобы обеспечить плавность перестройки по диапазону. Питание приемника осуществляется от двух пальчиковых батареек напряжением 1,5 В, соединенных последовательно. Транзисторы VT1...VT6 могут быть с любым буквенным индексом, вместо диодов КД521 подойдут КД522 с любой буквой.

Печатная плата приемника показана на рис. 11.53, монтажный чертеж — на рис. 11.54.

Настройка приемника сводится к установке границ принимаемого диапазона вращением подстроечника катушки L2. Диапазон удобно контролировать по промышленному приемнику. При правильной настройке приемника резистор R8 должен обеспечивать прием всех станций диапазона 64...73 МГц.

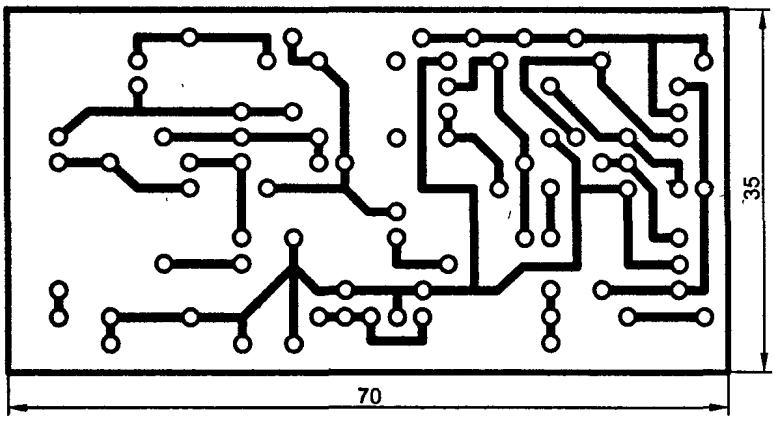
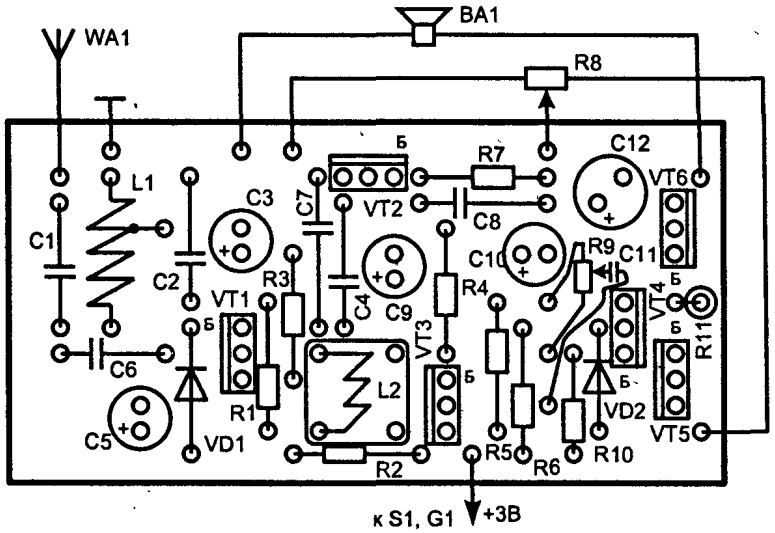


Рис. 11.53. Печатная плата

В заключение отметим, что все приемники с прямым захватом частоты обладают невысокой стабильностью, и не исключено, что через некоторое время станция «уйдет» — ее нужно будет вновь подстроить резистором R8. ■



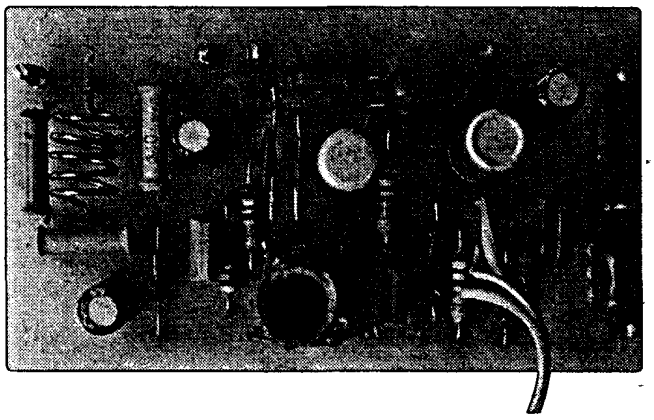


Рис. 11.54. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

Супергетеродинный приемник

Давайте познакомимся и со вторым знаменитым детищем Э. Армстронга, предложенным им еще в 1920 г. — супергетеродинным радиоприемником. «Супергетеродин» — это уже более сложный тип приемника, получивший в наши дни наибольшее распространение. Супергетеродинная схема используется и в профессиональной аппаратуре, и в бытовой технике, производимой промышленностью. Она обладает высокими показателями селективности, чувствительности к слабым сигналам, временной стабильностью, качеством звука.

Вас интересует, чем было вызвано появление такого популярного и сегодня вида радиоприемников? Оказывается, на заре развития радиотехники причиной тому стало несовершенство элементной базы, а точнее — усилительных ламп. Мало того, что они обладали низким коэффициентом усиления, это усиление еще сильно снижалось с увеличением частоты сигнала. Если же ставить много высокочастотных усилительных каскадов, то схема становилась склонна к самовозбуждению из-за емкостных паразитных связей между элементами. То есть проще было усилить сигнал с более низкой (промежуточной) частотой, что и позволяла сделать данная схема, перенося туда спектр полезного модулированного сигнала.

Итак, давайте вместе попытаемся понять основы работы супергетеродинного приемника. Посмотрите на рис. 11.55: сигнал с антенны через усилитель высокой частоты (УВЧ) поступает на смеситель. Роль УВЧ может выполнять транзистор с колебательным контуром. Мы встречали такие схемы в разделе, рассказывающем о приемниках прямого усиления. Другое — профессиональное — название этого узла: **преселектор**. Роль преселектора, кстати, может выполнять и обычный, перестраиваемый колебательный контур, который мы встречали в детекторном приемнике, если условия приема позволяют отказаться от предварительного усиления. Имеется также гетеродин, сигнал которого подводится к смесителю. Знакомая схема, не правда ли? Мы видели ее в разделе, посвященном гетеродинному приему.

Взгляните также на рис. 11.56 и убедитесь, что память вас не подвела. На выходе смесителя мы получим разностную и суммарную составляющие частот гетеродина и входного сигнала.

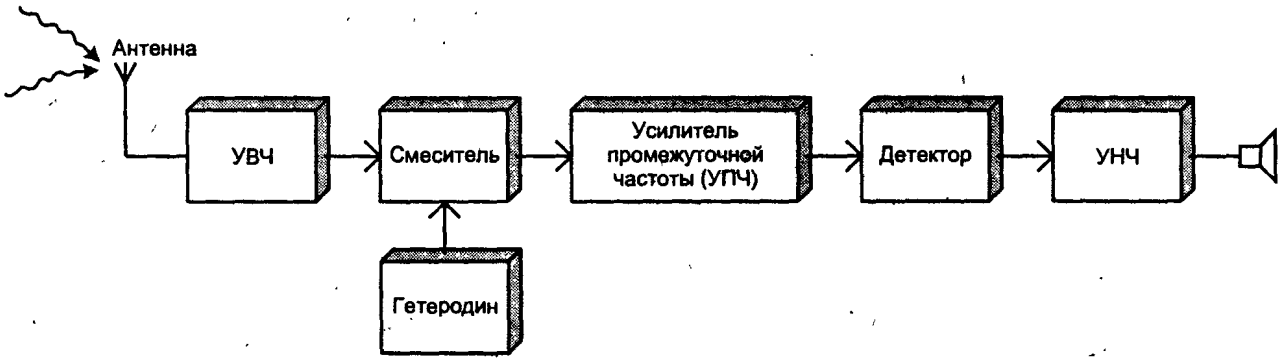


Рис. 11.55. Структура супергетеродинного приемника Э. Армстронга

Получается, что «супергетеродин» ничем не отличается от гетеродинного приемника? Зачем тогда «городить огород»? На самом деле отличия последуют после смесителя. Обратите внимание — далее стоит не ФНЧ и телефон, а **фильтр промежуточной частоты** (ФПЧ). Селективная кривая этого фильтра чем-то напоминает селективную кривую одиночного колебатель-

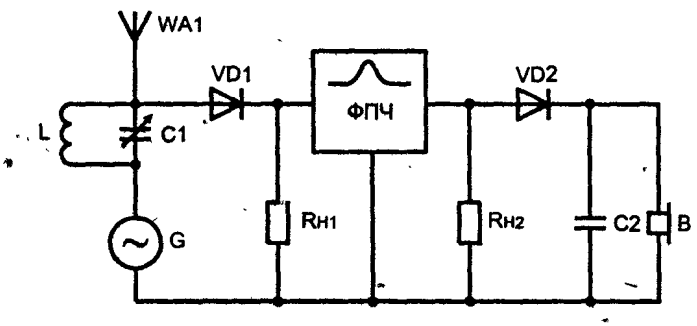


Рис. 11.56. Пояснение принципа работы супергетеродинного радиоприемника

ного контура, но имеет резкие скаты и почти пологую вершину в полосе пропускания. Полоса пропускания этого фильтра лежит в диапазоне, намного превышающем диапазон частот, слышимых человеческим ухом, например около 465 кГц, или 10,7 МГц. Соответственно преобразование спектра происходит для этого частотного диапазона, а не для диапазона звуковых частот. Несущая частота займет значение, например 465 кГц, а боковые полосы расположатся чуть левее и чуть правее. Затем этот сигнал можно детектировать простейшим амплитудным или частотным детектором, не опасаясь биений спектров НБП и ВБП, усиливать и воспроизводить динамической головкой.

К чему такие сложности? Вспомнив недостатки изготовленных ранее приемников, мы можем сказать, что одиночный входной колебательный контур в условиях плотного радиовещания не обеспечивает необходимой селективности, регенерация контура неустойчива и часто искажает принимаемый сигнал. Чтобы обеспечить высокие показатели селективности при минимуме искажений сигнала, нужно усложнять входной контур радиоприемника, делать его многокаскадным. Если вспомнить, что этот контур нужно также перестраивать, задача создания такого узла превращается в очень сложную. Гораздо проще создать **неперестраиваемый по частоте** селективный узел и все сигналы преобразовывать к этой частоте. Именно здесь и заключается «изюминка» супергетеродинного приемника. Повышая частоту настройки УВЧ, мы одновременно повышаем и частоту гетеродина, а их разность остается постоянной, хорошо фильтруется УПЧ. В данном случае эта частота называется **промежуточной**. Таким образом, селективность супергетеродинного приемника формирует не УВЧ, а ФПЧ, и именно к ФПЧ предъявляют жесткие требования (рис. 11.57).

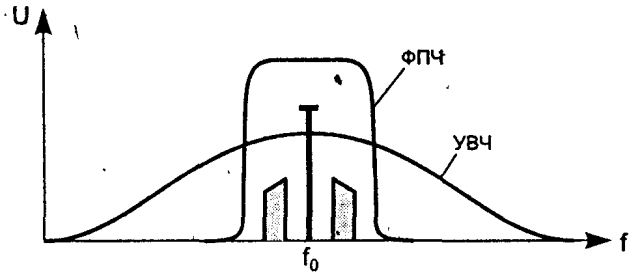


Рис. 11.57. Сравнение характеристик УВЧ и УПЧ

«Нельзя ли сократить преселектор, превратив его в обычный широкополосный усилитель?» — спросит читатель. К сожалению, нельзя. И вот почему. Если УВЧ будет широкополосным или даже обладать недостаточно хорошими селективными свойствами (рис. 11.58), на выходе смесителя, благодаря его свойствам, появится не только преобразованный полезный сигнал ($f_1 - f_G$), но также и сигнал мешающий ($f_G - f_2$), отстоящий от полезного сигнала на удво-

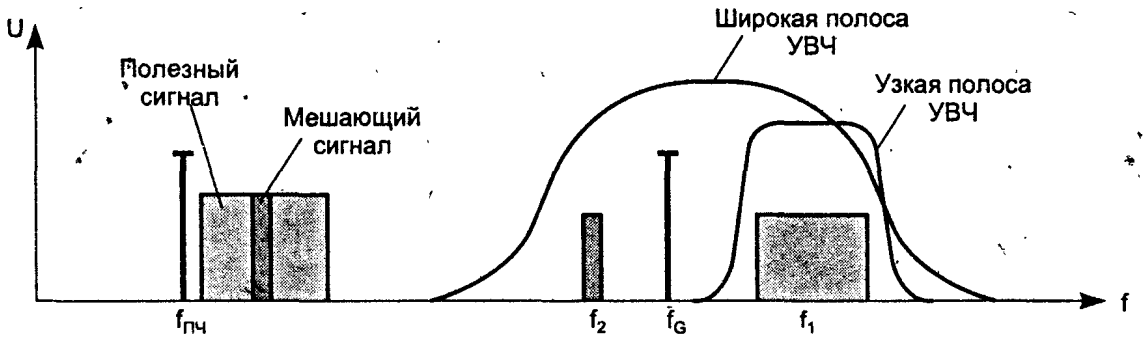


Рис. 11.58. Зеркальный канал в супергетеродинном приемнике

енное значение промежуточной частоты. Что такое мешающий сигнал? Им может быть, например, соседняя радиостанция. Поэтому преселектор должен отсекать лишь зеркальный канал. Более высокие требования к нему предъявлять бессмысленно — они уже предъявлены к ФПЧ. А УВЧ «супергетеродина» состоит обычно из 1—2 колебательных контуров. Супергетеродинный приемник обладает еще рядом недостатков, о которых мы здесь не будем упоминать.

Поговорим теперь о ФПЧ. Если одиночный контур не может обеспечить требуемую селективность, то что делать? На помощь приходят так называемые системы **связанных контуров**, показанные на рис. 11.59. При соответствующем выборе его элементов и настройке частотные характеристики этих систем, называемых **фильтрами сосредоточенной селекции** (ФСС), приобретут характер, показанный на рис. 11.59, *а*, *б*, *в*. Двухконтурные ФСС используются очень редко, наиболее часто можно встретить трехконтурные и четырехконтурные фильтры. Пятиконтурные ФСС в радиоприемной аппаратуре использовать нет смысла — ощутимого прироста качества не получить.

В диапазонах ДВ, СВ, КВ значение промежуточной частоты радиовещательных приемников стандартизовано и составляет: у нас в стране 465 кГц, за рубежном — 455 кГц. Значение ПЧ в УКВ диапазоне — 10,7 МГц. Чем выше частота ПЧ, тем легче бороться с зеркальным каналом.

ФСС, построенные на основе контуров, настраивать трудно, и именно поэтому супергетеродинные приемники до настоящего времени были мало популярны у начинающих. Но сегодня разработаны и активно используются **пьезокерамические фильтры** (рис. 11.59, *г*), которые полностью заменяют ФСС. Что представляет собой пьезокерамический ФСС? Это пластинка с тремя выводами — вход, выход, общий контакт. На основе такого фильтра мы и построим супергетеродинный приемник УКВ станций.

Внутри пьезокерамического фильтра размещена пластинка из титаната бария или другого вещества, превращающего электрические колебания в механические и наоборот. Важно сказать, что пьезокерамические фильтры обладают существенным недостатком — за границами полосы пропускания они не бесконечно ослабляют сигналы, а пропускают их с ослаблением примерно 50...60 дБ (типичное значение). Этот недостаток чаще всего устраняется включением на входе дополнительного резонансного контура либо последовательным включением нескольких фильтров.

Указанный недостаток устранен в **электромеханических фильтрах** (ЭМФП). Этот фильтр представляет собой круглый стержень с несколькими утолщениями, на концы которого намотаны катушки. Работает фильтр на основе магнитострикционного эффекта, который напоминает пьезоэлектрический эффект, но связан не с электрическим, а с магнитным воздействием. На одну из катушек подается сигнал, и магнитное поле вызывает механические колебания в стержне. На его выходе, во второй катушке, образуется ЭДС. Требуемую селективную характеристику формирует конфигурация стержня. Электромеханические фильтры имеют постоянный спад характеристики за полосой пропускания, но из-за внушительных размеров и дорогого изготовления, применяются только в профессиональной связной аппаратуре (рис. 11.59, *д*).

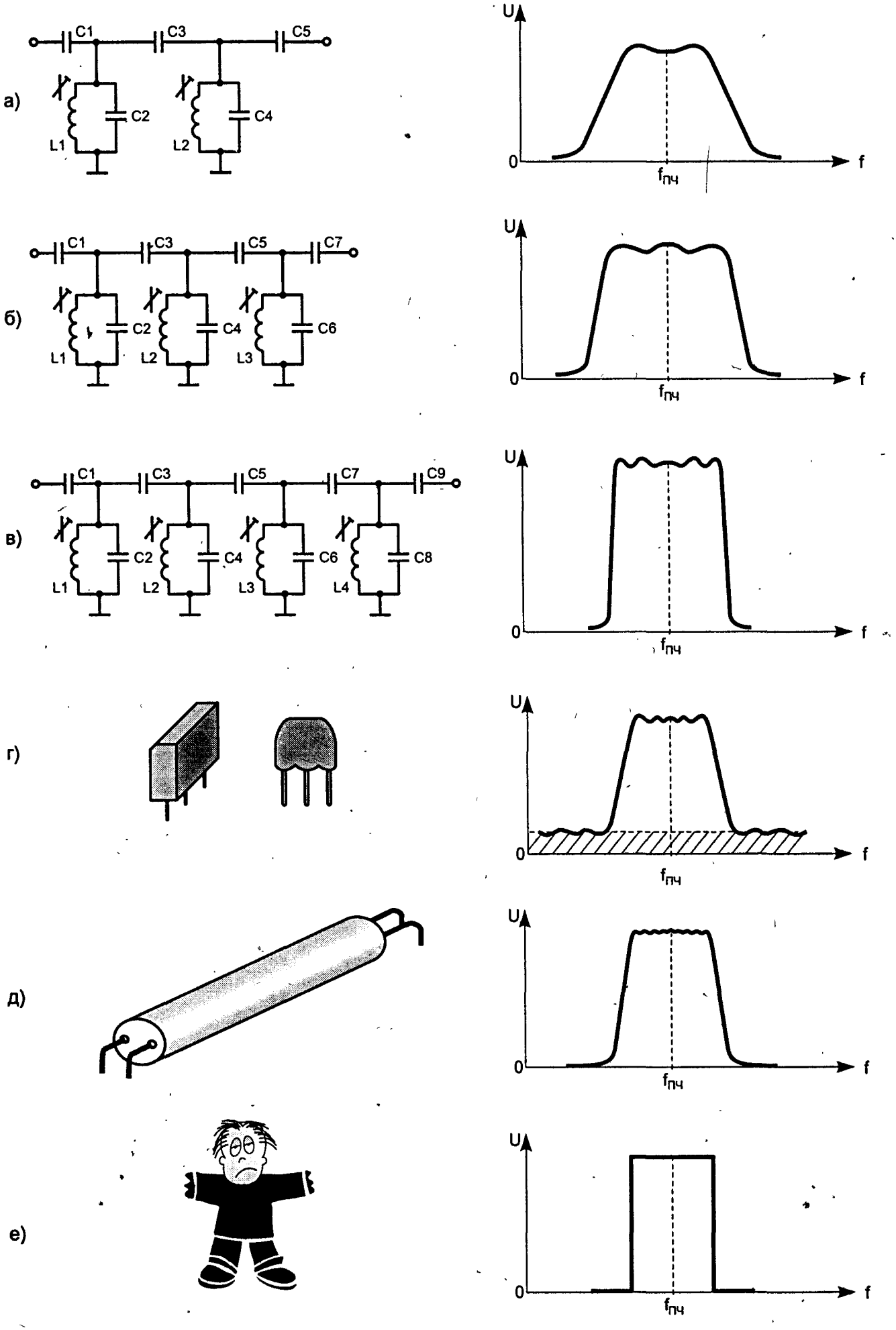


Рис. 11.59. Селективные характеристики ФСС: *а* **— двухконтурного;** *б* **— трехконтурного;** *в* **— четырехконтурного;** *г* **— пьезокерамического;** *д* **— электромеханического;** *е* **— идеального**

Идеальная селективная характеристика ФСС показана на рис. 11.59, *е*). Она имеет идеально плоскую вершину в полосе пропускания и бесконечное затухание за полосой пропускания. Конечно, идеальных фильтров не бывает, и все приведенные реальные конструкции в какой-то мере приближаются к идеалу.

Классический супергетеродинный приемник трудно изготовить начинающим радиолюбителям — настройка некоторых его элементов сопряжена с массой сложностей, которые под силу преодолеть только людям с опытом. Однако современная элементная база позволяет обойти львиную долю этих сложностей, и мы все же попробуем сделать несложный «супергетеродин» на микросхемах.

Этот приемник построен на импортной микросхеме TA8164 и предназначен для приема станций УКВ диапазона в отечественном (64...73 МГц) и импортном (88...108 МГц) диапазонах. Переключение диапазонов осуществляется электронным способом. Если читателя устроит радиоприемник на один диапазон, он может не устанавливать некоторых деталей, о которых скажем ниже.

Схема простого супергетеродинного приемника, публикуемая впервые, представлена на рис. 11.60, а структурная схема — на рис. 11.61.

Как утверждает производитель микросхем фирма «Тошиба», чувствительность по входу высокой частоты находится на уровне 4 мкВ, то есть соответствует приемнику высокого класса. Внутри микросхемы имеется как тракт ЧМ, так и тракт АМ, но мы не будем работать с амплитудной модуляцией. Итак, сигнал с антенны WA1, представляющей собой любой из вариантов, описанных выше, — полуволновой вибратор, петлевой вибратор, отрезок медного провода длиной 1,0...1,5 м, поступает на вывод 1 микросхемы DA1. К этому выводу подключен вход преселектора, селективную характеристику которого формирует резонансный контур, подключенный к выводу 15.

На схеме рис. 11.60 гетеродинный контур соединен с выводом 13 через разделительный конденсатор С8, отсекающий постоянную составляющую напряжения.

Нагрузкой частотного детектора служит контур L6, C12, добротность которого искусственно снижена резистором R11. Тракт ПЧ имеет внешние выводы 3 и 8, к которым подключен пьезокерамический фильтр Z1 на частоту 10,7 МГц, а также согласующий контур L5, C10 с катушкой связи. Конденсатор C11 — фильтр амплитудного детектора. Далее сигнал через дополнительный ФНЧ R9, C13 поступает на регулятор громкости R10 и с него — на простой УНЧ, который практически ничем не отличается от приведенного в предыдущей конструкции.

Особое внимание читателя хочется обратить на узел переключения диапазонов (S1). Зачем нужно такое построение схемы? Дело в том, что коэффициента перестройки варикапов VD5—VD8 не хватает для одновременного (однодиапазонного) приема 64...108 МГц, поэтому возникла необходимость введения разбивки диапазона на прием от 64 до 73 и от 88 до 108 МГц. Самая простая коммутация может быть выполнена подключением или отключением дополнительного конденсатора в контуры преселектора и гетеродина. Однако намного интереснее реализовать электронное переключение, которое при дальнейшей модернизации приемника можно использовать, чтобы управлять приемником с

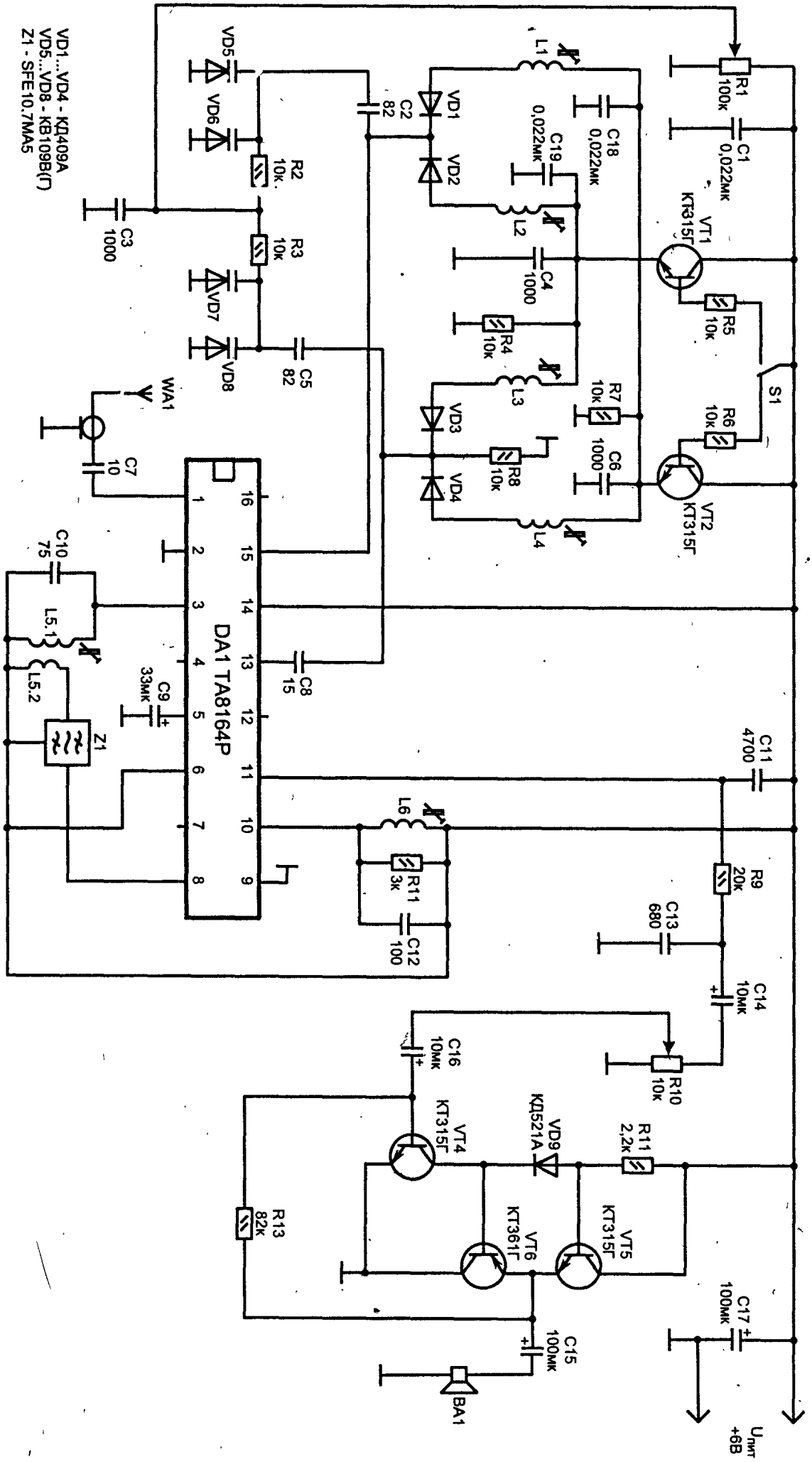


Рис. 11.60. Супергетеродинный УКВ ЧМ радиоприемник

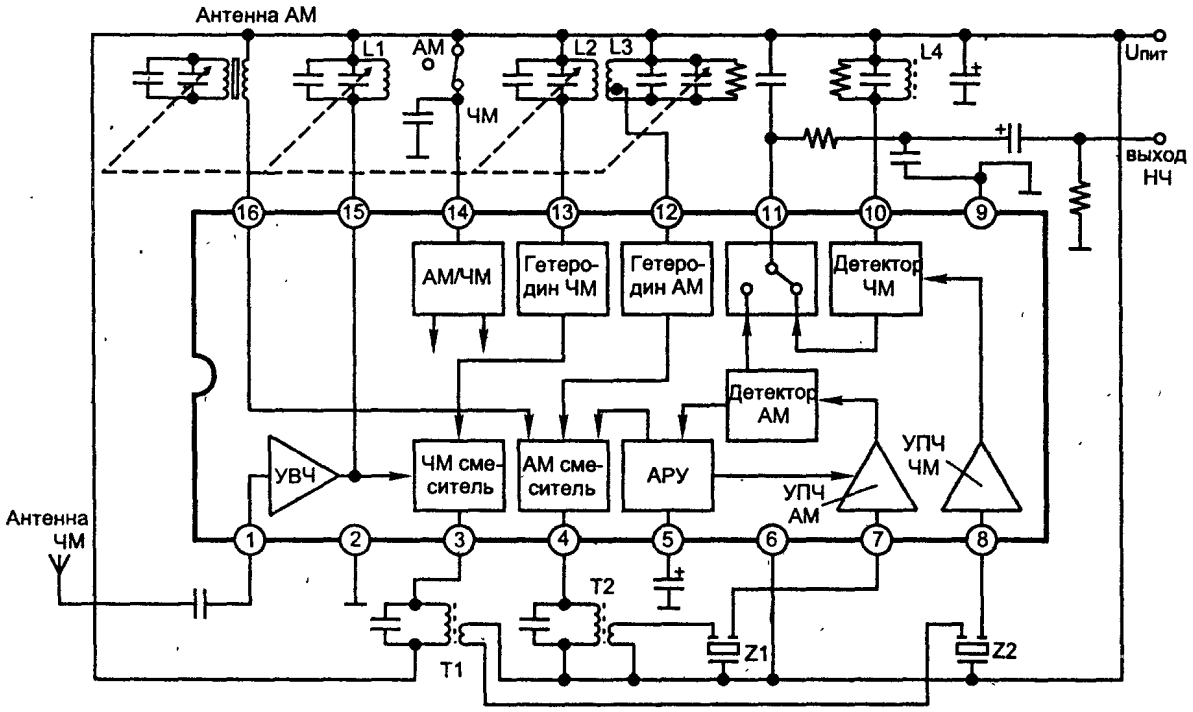


Рис. 11.61. Структурная схема микросхемы TA8164

помощью микроконтроллера [7]. Итак, с помощью транзисторных ключей VT1 и VT2, коммутируемых переключателем S1, к приемнику подключаются катушки L1 и L4 либо — L2 и L3. Емкостной элемент контура преселектора составляют варикапы VD5 и VD6, конденсатор C2, а емкостный элемент контура гетеродина — варикапы VD7 и VD8 и конденсатор C5. Элементы R2, R3, C3 — цепи подачи напряжения смещения на варикапы. Настройка осуществляется резистором R1.

Переключение катушек осуществляется так. Ток от источника питания через открытый транзистор, например VT1, через катушки L2 и L3, прямо смещенные диоды VD2 и VD3 стекает на общий провод. Закрытый же транзистор VT2 заставляет находиться в обратно смещенном состоянии диоды VD1 и VD4, а значит, катушки L1 и L4 не подключены к контуру. При переключении переключателя S1 в другое положение картина меняется на противоположную.

Приемник питается от напряжения 6 В, источником которого может быть и сетевой блок питания, и гальванические элементы. Неполярные конденсаторы — любые керамические, полярные — любого типа. Важно только, чтобы они не были слишком старыми и вписывались в размеры, отведенные им на печатной плате. Транзисторы могут быть с любым буквенным индексом, но предпочтительнее использовать с индексами «Б» и «Г». Резистор R1 — многооборотный. Диоды VD1—VD4 типа КД409А можно найти в селекторах каналов от старых цветных телевизоров.

Катушки L1 и L2 намотаны на каркасах диаметром 5 мм, виток к витку, проводами ПЭВ, ПЭЛ, ПЭТВ диаметром 0,4...0,5 мм. Количество витков: L1 — 4, L2 — 5. Катушки L3 и L4 — аналогичны, но L3 имеет 6,5 витка, L4 — 5 витков. Во все катушки ввернуты резьбовые подстроечники длиной 6 мм: катушки L1 и L4 имеют подстроечники из латуни, а L2 и L3 — из феррита марки 9ВЧ или 13ВЧ с резьбой М4. Латунные подстроечники можно

приобрести, но можно изготовить и самостоятельно, нарезав резьбу на контакте штепсельной вилки; или раздобыть латунные винты любого вида и срезать с них ножовкой шляпку, после чего пропилить шлиц для отвертки.

Печатная плата приведена на рис. 11.62, монтажный чертеж — на рис. 11.63.

Катушки L5 и L6 наматываются на унифицированных трех- или четырехсекционных каркасах с внутренним диаметром 3,5 мм. Эти катушки имеют цилиндрические подстроечные сердечники из феррита 100НН. Количество витков: L5.1 — 13, L5.2 — 2, L6 — 12. Провод диаметром 0,1...0,12 мм, намотка внавал. Выводы необходимо аккуратно зачистить и припаять к выводам каркаса так, чтобы его не расплавить.

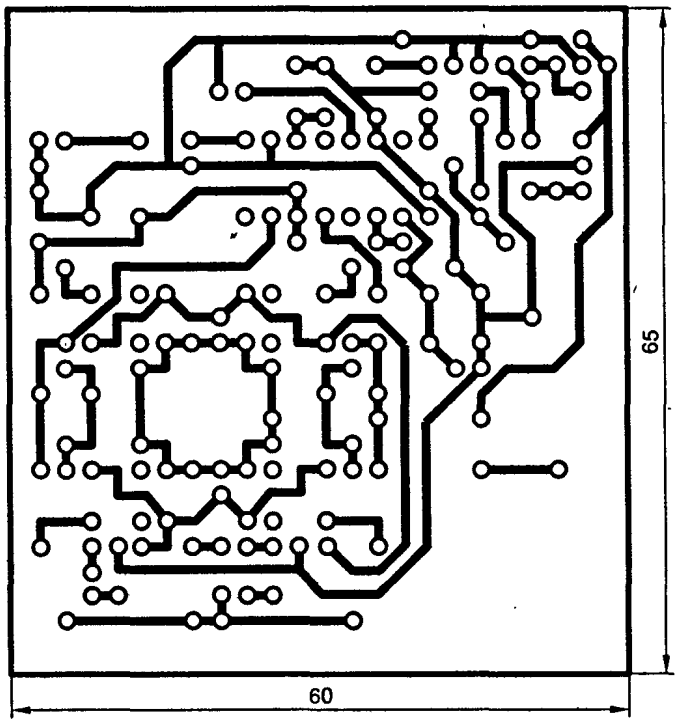


Рис. 11.62. Печатная плата

Прежде чем начать настройку приемника, не поленитесь и изготовьте из кусочка диэлектрика (например, стеклотекстолита) отвертку для подстройки катушек L1...L4. Включив питание, переведя переключатель S1 в правое (по схеме) положение и установив движок резистора R1 примерно в среднее положение, попробуйте «поймать» какую-нибудь УКВ станцию FM диапазона 88...108 МГц вращением сердечника катушки L4. После этого вращением резистора R1 добейтесь максимальной громкости приема.

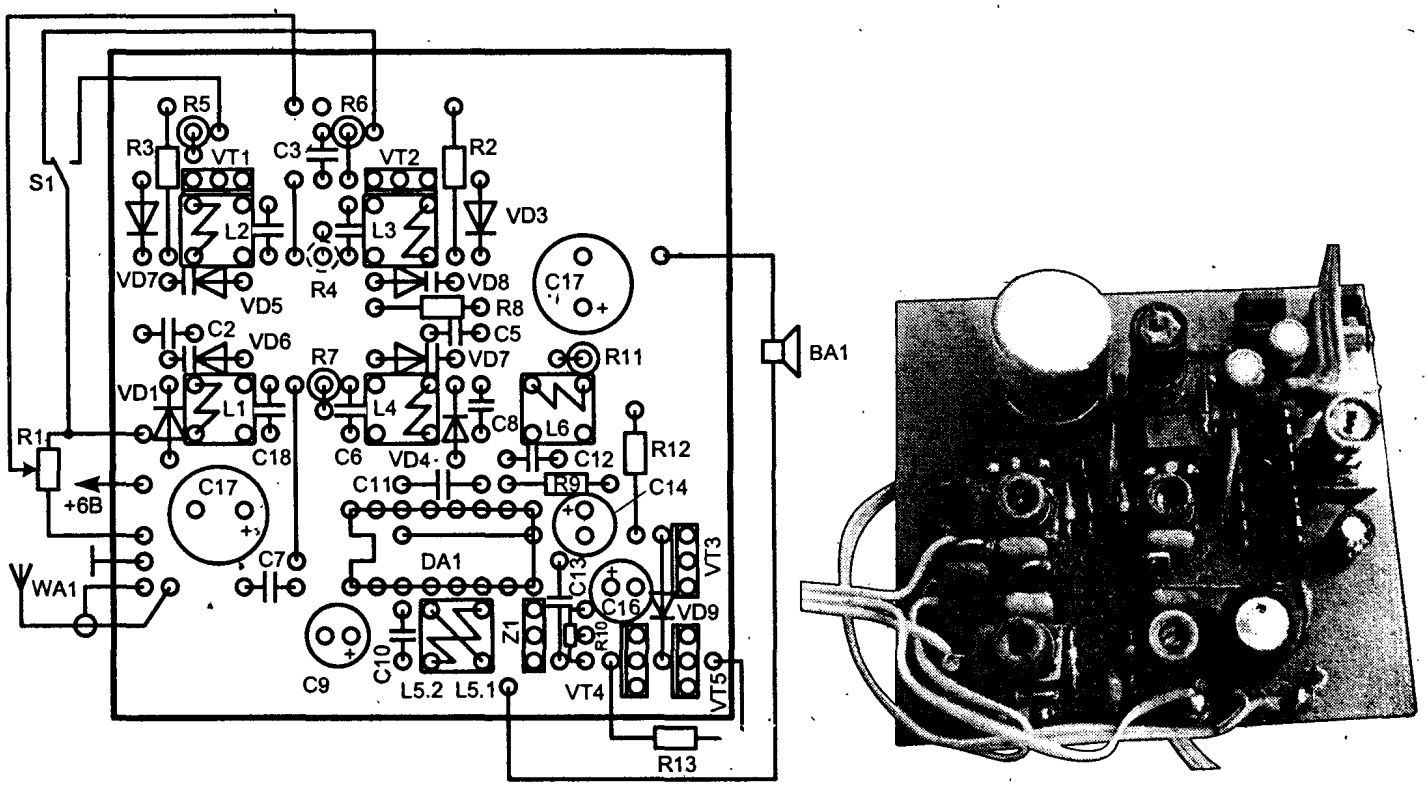


Рис. 11.63. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

Переходим к первой операции — настройке тракта ПЧ. Вращением подстроечника катушки L5 нужно добиться максимального качества звука и максимальной его громкости. Вторая операция — настройка частотного детектора — производится по тем же критериям, но вращением сердечника катушки L6. Третья операция — настройка границ диапазона — производится при установке резистора R1 в нижнее (по схеме) положение. В этом положении вращением сердечника катушки L4 устанавливаем самую «нижнюю» по частоте станцию диапазона, контролируя ее по промышленному радиоприемнику. Установка «нижней» станции в диапазоне 64...73 МГц производится при переводе переключателя S1 в левое положение. Последняя операция — добиться приема станций без характерного шипения вращением подстроечников катушек L1 и L2.

Как показывает практика, настройка даже такого до предела облегченного варианта супергетеродинного приемника занимает не один час времени. Однако это вознаградит вас за труды потрясающим качеством звучания и стабильностью установленных настроек.

Обращаем ваше внимание, что усилитель низкой частоты, установленный на плату приемника, предназначен для демонстрации работоспособности схемы. Если вы захотите использовать этот приемник повседневно, подключите хороший усилитель низкой частоты на транзисторах или на микросхеме, которые приведены в первой книге.

Следующая конструкция УКВ радиоприемника основана на той же микросхеме, но настройка его осуществляется двухсекционным конденсатором переменной емкости КПЕ-2, который можно найти в старой отечественной аппаратуре (в блоках УКВ), выпущенной в 70—80-х гг. XX в. Двухсекционная конструкция, как мы успели заметить, является принципиальным моментом, так как одновременно нужно перестраивать и преселектор, и гетеродин. Конденсатор снабжен редуктором и большим шкивом, который можно связать капроновым тросиком с ручкой и плавно настраивать приемник.

Схема приемника приведена на рис. 11.64, печатная плата — на рис. 11.65, а сборочный рисунок — на рис. 11.66.

Радиоприемная часть практически ничем не отличается от описанной в предыдущей конструкции. Нет особенностей и в усилителе низкой частоты. Его схема отдельно была приведена в главе «Усиливаем сигналы» (книга 1). Единственная особенность кроется в наличии стабилизатора напряжения D2. Зачем он нужен? Как видно из схемы, напряжение питания составляет 9 В — им нельзя питать микросхему. Поэтому стабилизатор и понижает напряжение до безопасного для микросхемы TA8164 уровня 5 В.

Намоточные данные катушек: L1 — 5 витков, L2 — 6 витков провода типа ПЭВ диаметром 0,4...0,5 мм. Каркасы диаметром 5 мм с резьбовыми подстроечниками М4. Намоточные данные остальных катушек можно взять из предыдущей схемы. Так как приемник может работать только в одном из УКВ-диапазонов (отечественном или зарубежном), надо заранее выбрать диапазон. Конденсаторы С6 и С7 можно использовать для установки границ принимаемого диапазона, если не хватит хода катушек L1 и L2. Но скорее всего, что в

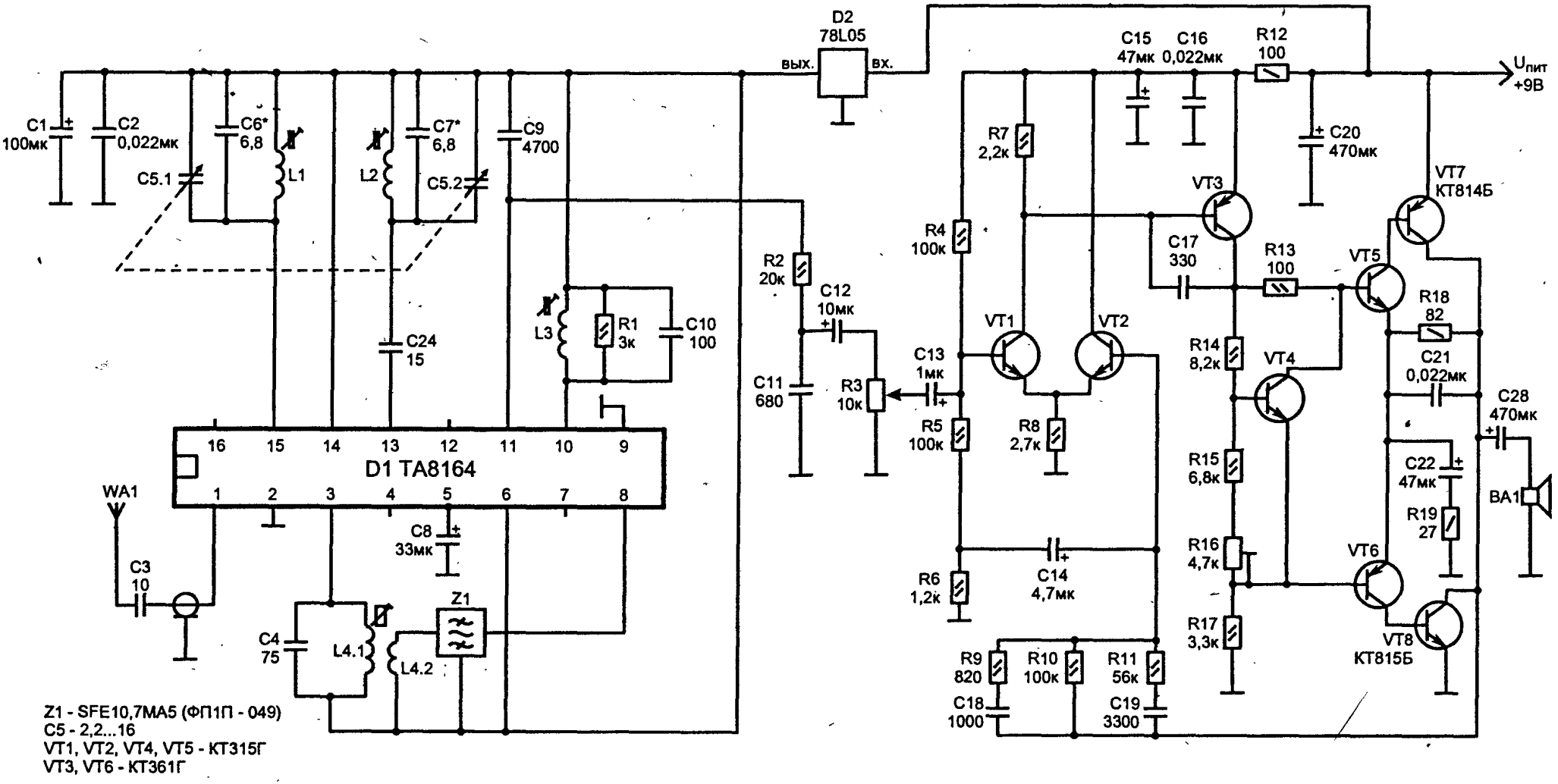


Рис. 11.64. Схема приемника

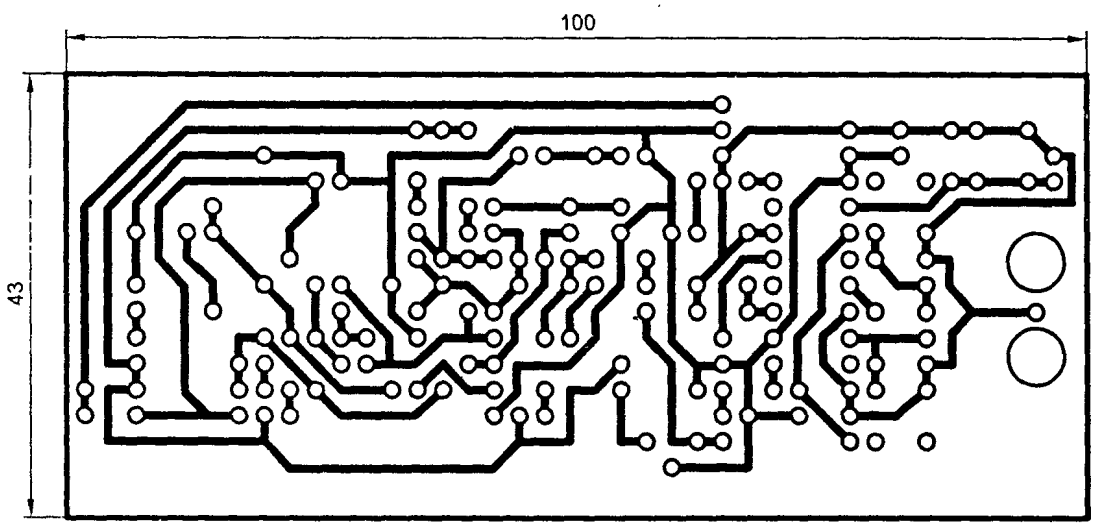
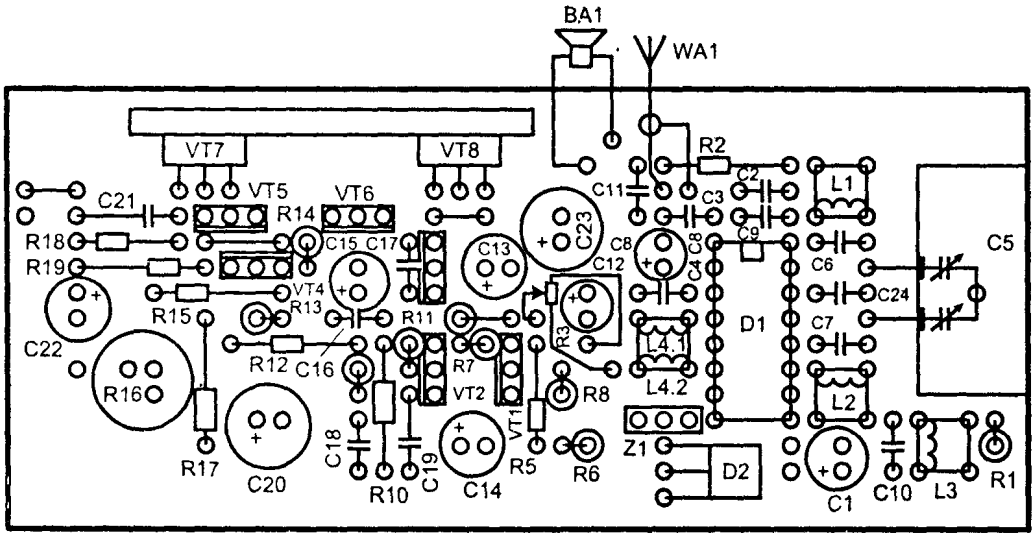


Рис. 11.65. Печатная плата



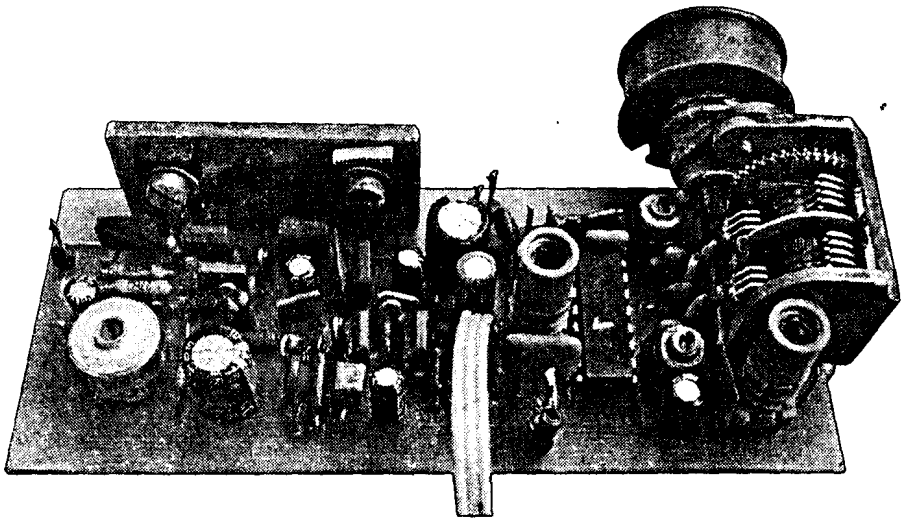


Рис. 11.66. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

зарубежном диапазоне установка конденсаторов С6 и С7 не потребуется. Для перестройки приемника на прием передач отечественного УКВ-диапазона нужно вывернуть латунные подстроечники и ввернуть вместо них подстроеч-

ные сердечники из феррита 13ВЧ или 9ВЧ (материал этих сердечников имеет характерный темно-бордовый цвет, они достаточно хрупки, так что обращаться с ними при настройке надо осторожно, без усилий). Конденсаторы С6 и С7 в этом случае должны быть по 10 пФ. Возможно, что при настройке для минимизации искажений звука потребуется увеличить номинал R1 до 5,6 кОм. ■

Асинхронно-гетеродинный приемник

Последний вариант УКВ приемника, предлагаемый читателю для изготовления, развивает идею супергетеродинного приемника и... возвращается к гетеродинному варианту! В этом приемнике есть «супергетеродинная» промежуточная частота, равная 76 кГц, но ее выделение осуществляется «гетеродинным» фильтром низкой частоты, построенном на основе обычных конденсаторов. Есть усилитель промежуточной частоты и частотный детектор, работающий по особому фазовому принципу, есть даже бесшумная настройка, устраняющая шумы эфира между станциями и индикатор точной настройки на станцию. Как устроена эта микросхема, как она работает, подробно описано в книге [7]. Чтобы не утомлять читателя математическими формулами и структурными схемами, назовем достоинства и недостатки такого приемника. К достоинствам относятся чрезвычайная простота, легкость в повторении, минимум операций по настройке после сборки, достаточно высокая входная чувствительность. Недостатков тоже много, и самый главный из них — наличие зеркального канала, отстоящего от основного на 152 кГц. Фильтровать этот канал приходится специальными методами.

Впервые микросхема, реализующая вариант этого **асинхронно-гетеродинного** радиоприемника, была выпущена фирмой «Philips» под маркой TDA7000. Позже появились модификации TDA7010 и TDA7021. Микросхема TDA7021 имеет отечественный аналог КР174ХА34АМ, поэтому именно на ней мы будем строить приемник.

Последняя разработка фирмы — микросхема TDA7088 — серьезно отличается от своих предшественниц. Настройка осуществляется не ставшим уже классическим способом изменения управляющего напряжения на варикапах вращением переменного резистора, а кнопочным. Приемник, построенный на этой микросхеме, имеет всего две кнопки: «reset» — сброс, устанавливающий схему настройки в начало диапазона, и «scan» — автосканирование вверх по диапазону и остановка на ближайшей станции. К сожалению, эта микросхема выпускается в планарном корпусе с шагом выводов 1,27 мм, поэтому ее трудно использовать начинающим радиолюбителям. Но заинтересовавшиеся смогут подробно познакомиться с ней в книге [7].

Принципиальная схема приемника приведена на рис. 11.67, печатная плата — на рис. 11.68, а сборка — на рис. 11.69.

Выводы 12 и 13 — входной усилитель радиочастоты. Между ними включен контур, образованный элементами С13, С14, L1. Контур выполнен неперестраиваемым и настроен на среднюю частоту принимаемого диапазона. Интересно отметить, что приемник будет вполне прилично работать, если этот контур

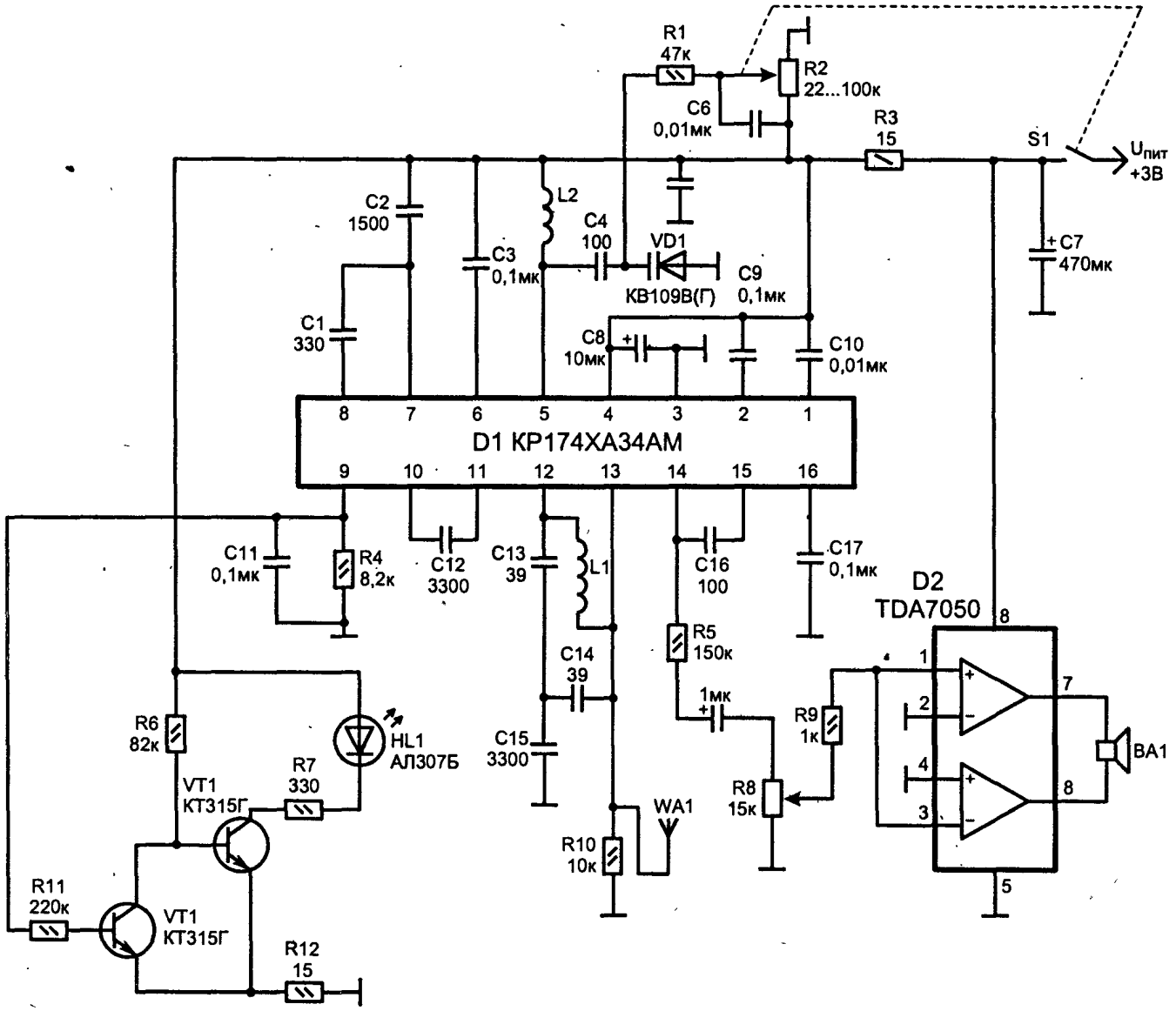


Рис. 11.67. Схема приемника

исключить вместе с резистором R10, оставив только конденсатор C15 и подключив антенну к выводу 12 через конденсатор емкостью 47...100 пФ.

Гетеродин приемника имеет вывод 5. К нему подключен частотозадающий контур L2, C4, VD1. Через резистор R1 на варикап VD1 подается напряжение смещения. Конденсаторы C1, C2, C3 и C12 формируют селективную характеристику усилителя промежуточной частоты. Конденсатор C10 — нагрузка частотного детектора, а конденсаторы C16 и C17 установлены в усилителе низкой частоты. Вывод 9 микросхемы — сигнал точной настройки. Схема, построенная на транзисторах VT1 и VT2, во-первых, усиливает сигнал точной настройки, а во-вторых,

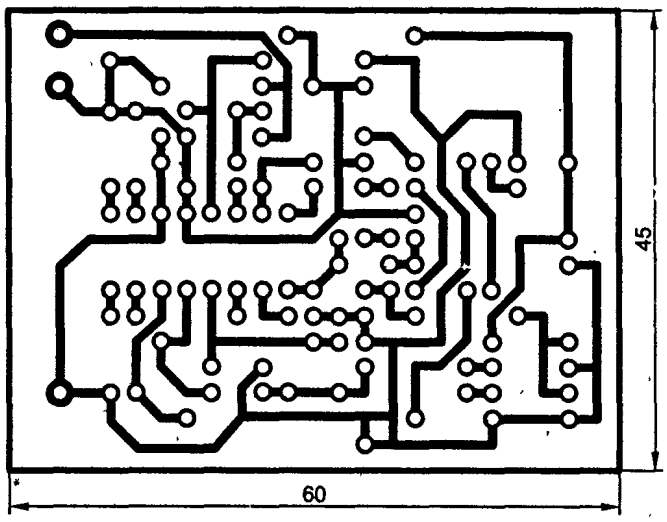
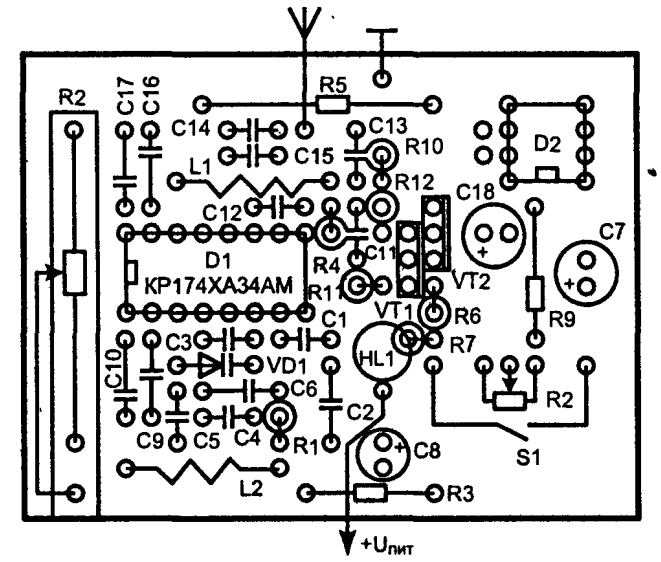


Рис. 11.68. Печатная плата



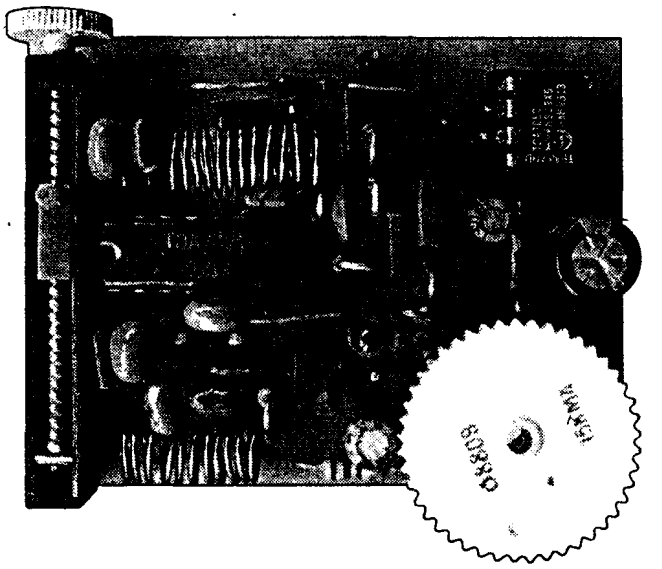


Рис. 11.69. Сборочный чертеж и внешний вид монтажа

инвертирует его, поскольку о точной настройке свидетельствует низкий уровень на выводе 9.

Усилитель низкой частоты построен на микросхеме TDA7050 и особенностей не имеет. Резистор R8 регулирует громкость. Его конструкция — белое колесико, совмещенное с выключателем.

О деталях. Переменный резистор R2 должен быть многооборотным, например типа СП3-36. Его номинал может лежать в пределах 22...100 кОм. Резисторы типа МЛТ, С2-33, конденсаторы — К10-17 и К50-35 (К50-68). Вместо варикапа КВ109В можно применить КВ109Г, КВ122А, КВ106А. Светодиод — любого типа с красным свечением.

Антенна — отрезок провода длиной 1,5 м. Катушки L1 и L2 — бескаркасные, намотанные на оправке диаметром 5 мм проводами ПЭВ, ПЭТВ (диаметр 0,5...0,7 мм). Количество витков: L1 — 12, L2 — 7 (для приема зарубежного диапазона) или 11 (для приема отечественного диапазона). Количество витков можно подобрать в пределах 1—2 для установки границ диапазона. Можно также осуществлять настройку сжатием-растяжением витков.

Налаживание начинают с соединения дополнительным резистором сопротивлением 10 кОм выводов конденсатора С9, отключая систему бесшумной настройки. Затем сжатием и растяжением витков катушки L2 добиваются перестройки по всему диапазону резистором R2. Можно также поэкспериментировать с варикапами, установив их параллельно две штуки (напаяв сверху второй элемент). Тогда можно уменьшить число витков катушки. Собственно, вот и вся настройка. Схему подавления шумов (БШН) можно опять включить.

Приемник питается от двух гальванических элементов напряжением 3 В. Сравните его звучание со звучанием классического супергетеродинного приемника и выберите лучший вариант. Добавим, что немного видоизмененный вариант приемника, содержащий дополнительный усилитель высокой частоты (антенный), опубликован в книге [8]. ■

Приемник с двойным преобразованием и другие

В профессиональной многоканальной радиоаппаратуре связи надо получить довольно большую селективность не только относительно соседних станций, но и побочных каналов (зеркального и гармониковых, то есть кратных частоте гетеродина). С повышением частоты расширяется полоса пропускания контуров, а это приводит либо к необходимости увеличивать их количество в преселекторе (входном фильтре) и перестраивать все одновременно (например, варикапами), что довольно сложно, либо же применять двойное преобразование частоты. Второй вариант оказался проще в реализации и обеспечивает более высокие параметры приемника.

При двойном преобразовании первую ПЧ выбирают более высокой (6,5 МГц или более), чем вторую (455—465 кГц). Это позволяет при усилении сигнала на второй ПЧ легко отсечь зеркальные каналы.

Превратить супергетеродинный приемник в приемник с двойным преобразованием несложно — достаточно на выходе ФПЧ поставить еще один гетеродин, смеситель, ФПЧ, как показано на рис. 11.70. Особенностью второго гетеродина является постоянство его частоты. К примеру, если первая промежуточная частота будет 10,7 МГц, то вторую ПЧ можно установить на уровне 465 кГц. Двойное преобразование частоты позволяет обеспечить еще большую избирательность, помехозащищенность и чувствительность к слабым сигналам. Иногда в специальной технике используется даже тройное преобразование частоты!

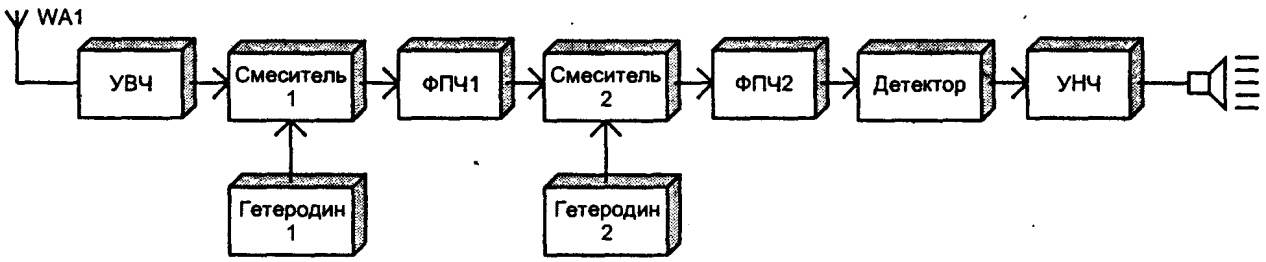


Рис. 11.70. Приемник с двойным преобразованием частоты

Заняться конструированием приемника с двойным преобразованием можно не ранее, чем появится практический опыт по изготовлению более простых схем. К тому же настройка приемника с двойным преобразованием частоты требует наличия комплекта профессиональных измерительных приборов, которых пока у вас нет. Поэтому мы не приводим практических схем таких приемников.

Описанными ранее конструкциями не ограничивается разнообразие радиоприемников. Как вы уже знаете, при амплитудной модуляции несущая не содержит информации, но на нее тратится большая часть мощности передатчика. Для повышения КПД передатчика была придумана схема, позволяющая передавать сигнал, содержащий только две боковые полосы (с подавленной несущей частотой). Такой вид модуляции сигнала называют Double Side Band, или сокращенно — DSB. Приемник в этом случае нужен тоже специальный, способный восстановить несущую, которая нужна при детектировании исходного сигнала без искажений.

Еще один метод улучшения технических характеристик канала связи связан с использованием однополосной модуляции (такой вид модуляции сокращенно называют SSB). Энергетически он еще более выгоден, чем способ с подавленной несущей, к тому же в 2 раза уменьшается полоса, занимаемая в эфире (информацию передают на одной боковой полосе — верхней или нижней, — обрезав вторую). Приемник в этом случае также должен иметь специальную схему, способную выполнить детектирование такого сигнала, для чего необходимо, чтобы частота гетеродина и фаза ее колебаний в приемнике в любой момент времени соответствовали определенному значению по отношению к фазе и частоте колебаний несущей передатчика (с высокой точностью). ■

Обзор современных способов получения информации

Мы завершаем разговор о радиоприемных устройствах небольшим обзором современных способов получения информации по радиоканалу. Сегодня стремительно возрастает популярность передачи по радио данных, кодированных в цифровом виде, то есть в виде нулей и единиц. Не подумайте, что наступает ренессанс «морзянки» — в обиход входит **цифровой радиоканал**. Самый простой из них имеют автомобильные сигнализации. Брелок-передатчик при нажатии кнопки излучает в эфир кодовую посылку, в которой зашифрованы код опознавания «свой-чужой», команда, по которой, например, нужно открыть дверь автомобиля. Приемник, установленный в машине, постоянно прослушивает эфир и, получив нужный код, выдает команду на то или иное действие. Несмотря на кажущуюся простоту, и передатчик, и приемник автомобильной сигнализации оснащены микропроцессорами (микроконтроллерами), которые обрабатывают цифровую информацию.

Автомобильная индивидуальная сигнализация — малая часть того, что может обеспечить современная радиотехника для предотвращения кражи транспортных средств. Сейчас идет практическая реализация глобальной системы охраны, которая немедленно передаст сигнал тревоги на компьютер соответствующих служб, сообщив местонахождение угнанного автомобиля. Понятно, что необходимой аппаратурой должны быть оборудованы все автомобили. Это — дело недалекого будущего.

Совершая поездку на автомобиле, водители часто слушают радиоприемники. Кроме развлечения, это позволяет оперативно узнавать о погодных условиях и пробках на дорогах. Но сводки передаются не так часто. Чтобы постоянно иметь «под рукой» важную информацию, сегодня в УКВ-диапазоне работают станции RDS, которые передают цифровой сигнал одновременно со звуковой радиопередачей. Эта информация может быть выведена на дисплей автомобильного приемника «бегущей строкой». Россия пока отстает от всего мира по масштабам развития RDS вещания — оно имеется только в нескольких крупных городах. Но, хочется верить, развиваться будет быстро.

Очень напоминает систему RDS телевизионная служба «телетекст». Телевизор, оснащенный декодером телетекста, может выводить на экран в буквенно-цифровом виде передаваемую телецентром в перерывах между кадрами изо-

бражения информацию. Функция телетекста есть практически во всех современных телевизорах. Информация здесь также передается в цифровом виде.

Сколько существует человечество, всегда актуальной была проблема определения своего местонахождения на земной поверхности. Сегодня сделать это очень просто — достаточно иметь в кармане приемник GPS сигнала. Система GPS — это 24 спутника на околоземной орбите, по сигналу с которых можно определить свои географические координаты: широту и долготу. Приемники GPS сигнала могут быть как очень простыми и дешевыми, дающими только информацию о координатах, а могут выводить на цветной монитор электронную карту с возможностью масштабирования, отмечать маршрут передвижения, обсчитывать скорость продвижения на каждом участке.

Прочно вошла в нашу жизнь пейджинговая связь, первые опыты внедрения которой относятся аж к 1956 г.! Пейджинговая система также использует радиоканал, по которому непрерывно передаются сообщения для абонентов в цифровом виде. Каждое сообщение имеет свой уникальный код, и оно попадает на приемное устройство абонента (пейджер), которому и адресуется. Недостаток пейджинговой связи кроется в невозможности обратной передачи сообщения, но тем не менее она используется так же широко, как и сотовая связь, — благодаря своей дешевизне. В 1992 г. создана общеевропейская система пейджинговой связи «European Radio Message System», работающая в полосе частот 169,4—169,8 МГц. В настоящее время около 90% стран используют разработку фирмы «Motorola», датируемую 1993 г. Эта разработка, называемая FLEX, обладает повышенной помехоустойчивостью и скоростью передачи данных. Пейджинговые системы имеют междугородный и общеевропейский роуминг, то есть сообщение дойдет до абонента, где бы он ни находился.

Теперь поговорим о такой широко распространенной ныне области, как **радиолокация**. Радиолокационные станции используются сегодня не только и даже не столько в военных целях, сколько помогают безопасному передвижению транспорта — самолетов и кораблей. Миниатюрное локационное оборудование есть даже на небольших прогулочных яхтах и одноместных самолетах. Оно входит в обязательный набор технических средств аэропортов — без радиолокации современные самолеты не могут ни взлететь, ни сесть на посадочную полосу. Радиолокация используется и в научных целях — для исследования ионосферы и даже для изучения планет Солнечной системы.

Первые опыты по радиолокационному обнаружению объектов относятся к 30-м гг. XX в., причем ведущие мировые страны (СССР, Англия, Германия, США) стали заниматься этой проблемой практически одновременно, но в обстановке строжайшей секретности. Поначалу к технике радиолокации военные руководители относились прохладно, не доверяли новым технологиям. Но произошла большая трагедия, и это в значительной степени способствовало изменению мнения на предмет использования локаторов.

В 1941 г., 7 декабря, японский флот, состоявший из шести авианосцев с 360 самолетами, двух линкоров, трех крейсеров, девяти эсминцев и шести подводных лодок, скрытно подошел к американской базе Перл-Харбор, недалеко от Гавайских островов. На базе имелась одна новая РЛС, но она включалась всего на несколько часов в сутки, да и к ее данным относились достаточно прохладно. В то утро РЛС все-таки работала и обнаружила на расстоянии 140 миль

большое скопление самолетов. Но американцы сочли самолеты своими, так как они ждали прибытия отряда бомбардировщиков. Японские самолеты достигли Перл-Харбора только через час, и за это время можно было как-то подготовиться, поднять в воздух истребительную авиацию, задействовать корабельные и береговые зенитные орудия. Увы, беспечность и самоуверенность американцев привели к потере четырех линкоров, крейсера, трех эсминцев, 260 самолетов, свыше 5000 раненых и убитых — японцы просто разбомбили неподвижные и несопротивляющиеся цели. Интересно отметить, что японская сторона потеряла всего 29 самолетов и 55 летчиков.

Техника радиолокации сегодня находится на очень высоком уровне и продолжает развиваться. С ее помощью можно определить направление на объект, его высоту над поверхностью и скорость перемещения. Поражает и разрешающая способность технических средств: некоторые станции могут распознать цель с максимальным размером около 20 см на расстоянии 1500 км!

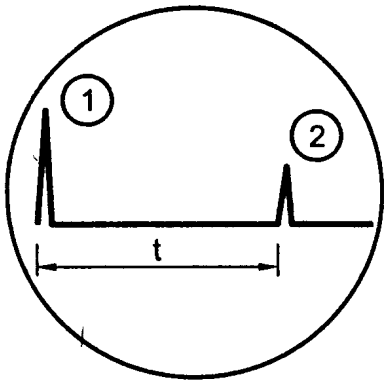


Рис. 11.71. Измерение расстояния до объекта средствами РЛС

Как устроена простейшая радиолокационная станция? Она состоит из передатчика и приемника, расположенных рядом. Передатчик формирует короткие импульсы, которые с помощью направленных антенн излучаются в сторону объекта. Достигнув цели, радиоволна отражается от нее и спустя некоторое время возвращается к приемнику. Для прохождения пути от РЛС до цели и обратно волне потребуется некоторое время, которое, учитывая постоянство скорости распространения волны, легко пересчитать в расстояние. В самом простом случае измерить расстояние можно с помощью... осциллографа (рис. 11.71).

В момент излучения импульса (1) запускается развертка осциллографа и антенна переключается на прием. Отраженный импульс (2) приходит спустя некоторое время t, поэтому, помножив полученное время на калибровочный множитель, можно определить расстояние. А можно нанести на экран осциллографа сетку и проградуировать ее непосредственно в единицах расстояния, например в километрах.

Более сложные РЛС кругового обзора изготавливаются с поворотной антенной, перемещение которой синхронизируется с лучом на специальной осциллографической трубке, в центре которой условно находится РЛС, а сканирующий луч постоянно перемещается по радиусу, отмечая точками объекты.

Радиолокационные станции широко используются для зондирования ионосферы, когда антенна РЛС направляется вертикально вверх. Зондирование осуществляют на частотах от 0,5 до 20 МГц. Результатом этой работы является получение высотно-частотной характеристики ионосферы. Это нужно для прогнозирования эффективности работы коротковолновых линий связи. Поскольку в моменты ионосферных возмущений (это наиболее четко проявляется в полярных районах) наступает резкое ухудшение параметров связи, важно своевременно обнаружить такие явления и предупредить соответствующие службы. Интересно отметить, что результаты наблюдений за ионосферой вмес-

те с наблюдениями за другими геофизическими явлениями позволяют составлять прогнозы поведения ионосферы вперед на несколько лет!

Радиоастрономия — эта область науки проделала за несколько десятилетий путь от зарождения до расцвета. Совершено множество открытий источников излучения, находящихся во Вселенной и в не видимых обычным глазом — квазаров, пульсаров. Специальные радиотелескопы, принимающие космическое излучение, занимают на земле километровые площади, являясь уникальными техническими сооружениями. Колоссальный рывок совершила радиоастрономия и на пути к объяснению картины зарождения Вселенной. В частности, было открыто **реликтовое излучение**. Как известно, теория зарождения Вселенной в результате Большого взрыва, была построена советским математиком **А. А. Фридманом** в 1922—1924 гг. В частности, из этой теории следовало, что Вселенная в далеком прошлом не имела ни отдельных небесных тел, ни галактик, а все вещество было однородным, очень плотным и быстро расширялось. В начале 1940-х гг. американским физиком **Г. Гамовым** на основе теории Фридмана сделано предположение о том, что температура этого однородного вещества была огромной. Физик высказал предположение: в сегодняшней вселенной должно существовать слабое излучение, оставшееся от эпохи большой плотности. И действительно, в 1965 г. американские физики **А. Пензиас** и **Р. Вилсон** открыли реликтовое излучение, доказав справедливость теории «горячей вселенной».

Максимум интенсивности реликтового излучения приходится на участок длин волн порядка 0,1 см. Наличие реликтового электромагнитного излучения позволяет исследовать процессы, происходившие во Вселенной 10—20 млрд. лет назад. Интересно отметить, что в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн реликтовое излучение по интенсивности во много тысяч раз превосходит излучение звезд и обнаруживается при помощи радиотелескопов.

Наличие реликтового излучения позволило продвинуться вперед и по такому важному для астрономов вопросу, как распределение плотности вещества во вселенной. Поскольку излучение несет информацию о точках пространства, разнесенных очень далеко друг от друга, по его интенсивности судят о плотности вещества в этих точках. Интенсивность этого излучения, приходящего к нам с диаметрально противоположных точек неба, оказалась на удивление одинаковой. Объяснения данному научному факту пока не найдено. Техника радиоастрономии — это передний край современной науки.

Физиология. Электромагнитные волны — отличный инструмент для изучения функционирования человеческого организма, диагностики заболеваний. Наличие электрических сигналов при работе мышц и мозга человека объясняет наличие радиоизлучения живого организма на частотах около 150 кГц. Об исследованиях в этой области впервые было сообщено еще в 1960 г. на конференции Общества американских радиоинженеров. Известные всем электрокардиограммы и электроэнцифалограммы дают отличное представление о работе сердца и головного мозга. Практически любое нарушение четко отслеживается специально подготовленными врачами, предупреждается развитие патологий, даются лечебные рекомендации. В последнее время появились приборы, которые после снятия электрограммы автоматически анализируют графики, выдают

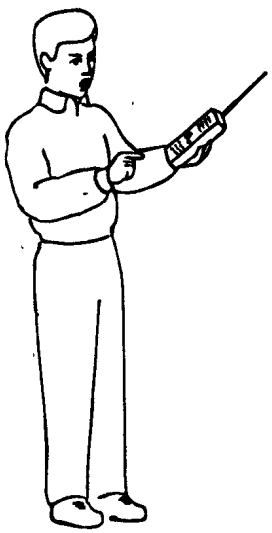
необходимые данные, избавляя врача от рутинной работы и позволяя ему сосредоточиться на главном.

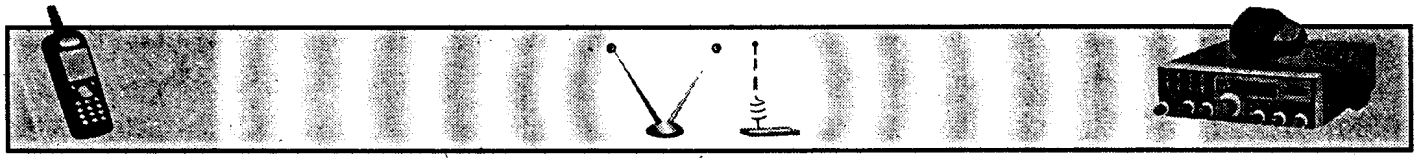
Человеческий мозг при своей работе излучает множество периодических сигналов, называемых ритмами. Учеными установлено, что все ритмы живых организмов так или иначе связаны с основным земным ритмом — суточным. Интересно, что в настоящее время у человека обнаружено более 100 различных ритмов. Все эти ритмы также связаны друг с другом, образуя логичную цепь. Рассогласование ритмической деятельности организма может вызвать даже заболевания. Например, десинхроноз возникает, когда человек перебирается на противоположную сторону земного шара. Ему приходится какое-то время адаптироваться к новым условиям.

Надеемся, что вы, уважаемые читатели, успели понять: радиотехника — это наука, которой в современной жизни всегда есть место. ■

Литература

1. *Захаров А.* УКВ ЧМ приемник с ФАПЧ. — М.: Радио, № 12, 1985.
2. *Захаров А.* Кольцевой стереодекодер в УКВ ЧМ приемниках. — М.: Радио, № 10, 1987.
3. *Захаров А.* Стереодекодер с коррекцией частотных предыскажений. — М.: Радио, № 1, 1990.
4. *Сапожников М.* Как повысить селективность приемника. — М.: Радио, № 12, 1991.
5. *Поляков В. Т.* Радиолюбителям о технике прямого преобразования. — М.: Патриот, 1990.
6. *Поляков В. Т.* Техника радиоприема. Простые приемники АМ сигналов. — М.: ДМК, 2001.
7. *Семенов Б. Ю.* Современный тюнер своими руками: УКВ стерео + микроконтроллер. — М.: СОЛОН-Р, 2001.
8. *Шелестов И. П.* Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 4. — М.: СОЛОН-Р, 2001.





Глава 12

Радиопередатчики для дома

Одной из основных задача радиотехники является передача информации при помощи радиоволн. Из предыдущих глав вы уже знаете, как происходило развитие способов получения высокочастотного сигнала, который возможно превратить в радиоволну. С тех времен многое изменилось. Совершенствование элементной базы позволило делать радиопередатчики на любую мощность с небольшими размерами. А появление мобильной связи является поистине революционным событием в развитии цивилизации, свидетелями которого мы с вами являемся. В этом разделе рассмотрим, как можно построить современный радиопередатчик для разных целей и попробуем самостоятельно изготовить несколько простейших конструкций. ■

Об устройстве передатчиков и их основных узлах

Природу побеждают, только повинуясь ее законам.

Френсис Бэкон

Информация в технике связи может быть представлена только в двух видах: **дискретном** (называемом еще — цифровом) и **непрерывном** (аналоговом). К первым относятся телеграфные тексты, сигналы от включателей, импульсы в цепях компьютера. Текст этой книги — тоже дискретная форма представления информации. Для начала запомните, что информация в дискретном виде выдается **порциями**. Долгое время, кроме дискретного, других способов представления информации не существовало, так как получать и усиливать аналоговые сигналы еще не научились. Аналоговый вид — это непрерывный и зачастую медленно меняющийся во времени уровень сигнала, например от микрофона, телекамеры, термодатчика и тому подобных источников. Порцию в аналоговом сигнале выделить не удастся. Правда, существуют и активно используются способы преобразования дискретного сигнала в аналоговый и наоборот, но об этом мы еще поговорим.

Принцип передачи информации по радиоканалу заключается в усилении исходного электрического сигнала до нужного уровня, а затем переносе его энергии с помощью процесса модуляции в спектр более высокочастотного колебания — так называемой **несущей частоты**.

Как выглядят сигналы с модуляцией амплитудной (АМ) и частотной (ЧМ), было уже описано в главе 10 (Основы современного радиоприема). Фазовая модуляция мало отличается от частотной (оба эти типа модуляции являются разновидностями угловой модуляции) — фазовая используется только для организации цифровых каналов связи в специальной аппаратуре. Вас интересует, как можно получить частотно- или амплитудно-модулированный сигнал? Все довольно просто.

Любой радиопередатчик состоит из низкочастотного и высокочастотного блоков. В этой главе мы будем вести речь в основном о высокочастотной части, которая обычно состоит из нескольких типовых узлов. Их назначение и последовательность расположения зависят от того, какой вид модуляции мы хотим получить. На рис. 12.1 показано несколько структурных схем самых простых радиопередатчиков.

Простейший передатчик может состоять из задающего генератора (ЗГ), работающего прямо на антенну, и усилителя низкочастотного сигнала, который выполняет модуляцию прямо в ЗГ (за счет изменения режима его работы),

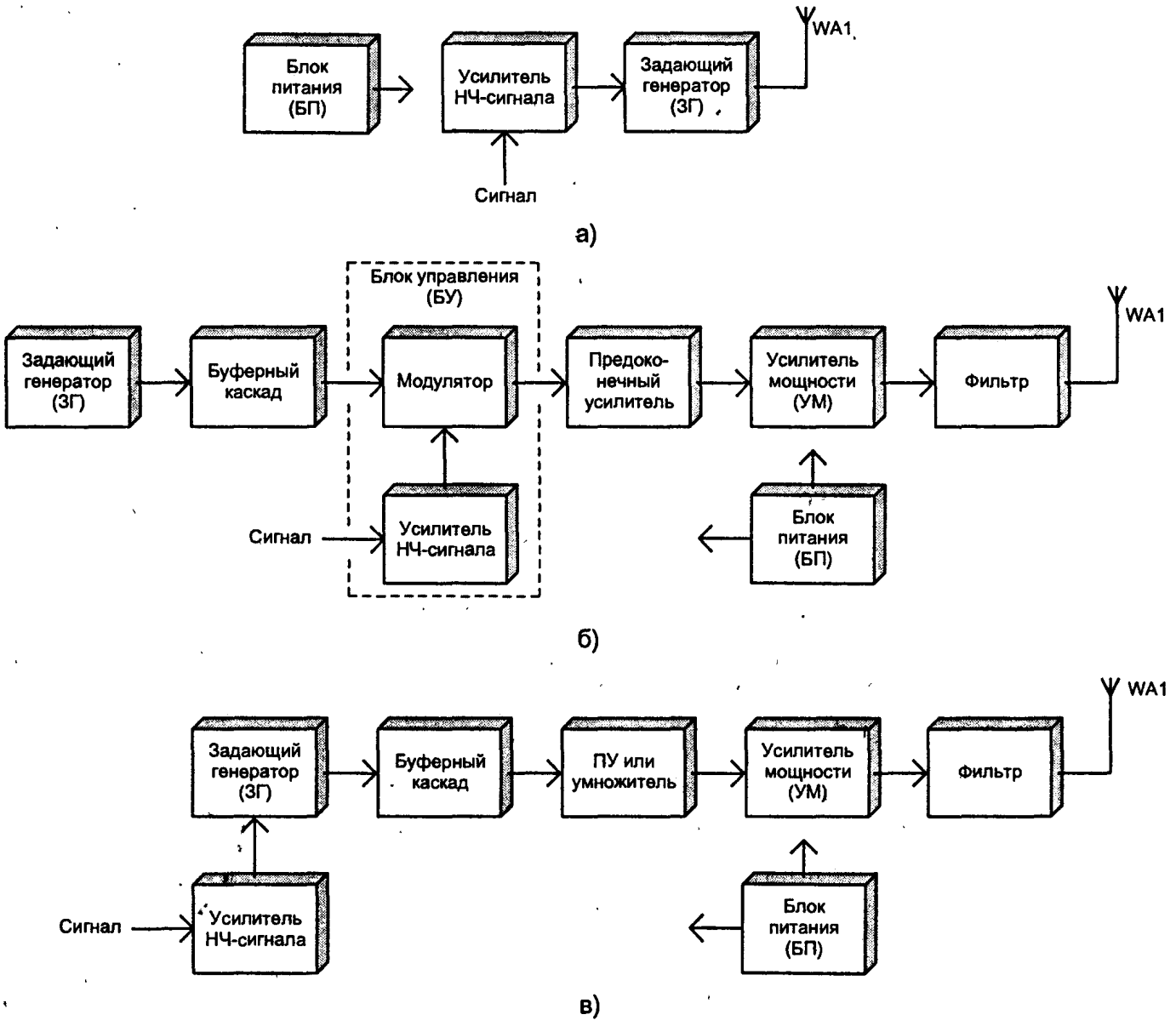


Рис. 12.1. Структурные схемы передатчиков:
а **— простейший с АМ или ЧМ;** ***б*** **— мощный с АМ;** ***в*** **— мощный с ЧМ**

рис. 12.1, *а*. Ожидать высокой стабильности частоты и большой выходной мощности от такой схемы не приходится, поэтому чаще применяют передатчики, состоящие из большего числа узлов, основными из которых являются: задающий генератор (ЗГ), усилитель мощности (УМ), блок управления (БУ) и блок питания (БП). Иногда схема может содержать также буферный каскад, предоконечный усилитель, выходной фильтр и некоторые другие (рис. 12.1, *б*). Буферный каскад используется для исключения влияния последующих каскадов на ЗГ. Перед УМ могут стоять дополнительные каскады, которые позволяют усилить ВЧ сигнал до нужного уровня (а могут и не стоять, если большая мощность не нужна). Все каскады должны быть согласованы между собой, для чего ставятся между ними соответствующие цепи (из конденсаторов, индуктивностей и резисторов).

Если необходим передатчик, работающий в нескольких диапазонах частот, то между задающим генератором и оконечным усилителем мощности используется преобразователь — умножитель или синтезатор частоты. В ЧМ передатчиках модуляцию выполняют в ЗГ, для чего обычно небольшое изменение резонансной частоты контура осуществляют с помощью варикапа. Работу всех основных узлов мы подробно рассмотрим на примере практических схем.

Основные требования, которые предъявляются к любительским передатчикам и на которые следует обратить особое внимание, следующие:

- стабильность частоты (допустимый уход частоты за определенный промежуток времени) или относительная нестабильность частоты;
- выходная мощность (для передатчиков, питающихся от батарей или аккумуляторов, типичный диапазон мощностей обычно находится в пределах 0,1...10 Вт);
- ширина полосного и уровень внеполосных излучений (внеполосное излучение является помехой для связи в соседнем канале; уменьшить их позволяет установленный на выходе передатчика фильтр).

Спектр полученного ВЧ сигнала зависит не только от вида используемой модуляции и спектра исходного сигнала (как вы уже знаете, спектр сигнала зависит от его формы), но и от принципа модуляции. В литературе вы наверняка встретите описание передатчиков, работающих в SSB режиме. Идея SSB режима очень проста — в этом случае специальными методами из спектра АМ колебания «вырезают» несущую и одну из боковых полос, поскольку боковые полосы идентичны. В таких передатчиках вместо простого ЗГ используют устройство формирования однополосного сигнала. Передача его требует меньшей энергии от источника питания (потребление идет на излучение в эфир только одной полосы), но детектировать такой сигнал намного сложнее, так как накладываются жесткие требования на стабильность несущей частоты как самого передатчика, так и гетеродина приемника (мы с такими передатчиками в этой книге иметь дело не будем).

Спектр сигнала в эфире для разных видов модуляции показан на рис. 12.2. Разница между ЧМ и АМ модуляциями заключается в ширине полосы занимаемой в эфире. Если при АМ модуляции звуковым сигналом с верхней частотой $f_B = 10$ кГц, ширина спектра в эфире составит 20 кГц, то при ЧМ модуляции звуковым сигналом с той же верхней частотой спектр получается более широ-

ким — 130...180 кГц (зависит не только от максимальной модулирующей частоты f_B, но и от девиации частоты при модуляции). Именно из-за более широкой полосы такая модуляция используется на частотах более 50 МГц. Достоинством частотной модуляции, как вы уже знаете из предыдущей главы, является низкая чувствительность к индустриальным и атмосферным помехам, так как до частотного детектора сигнал пропускают через ограничитель уровня, который обрезает амплитудные изменения в сигнале.

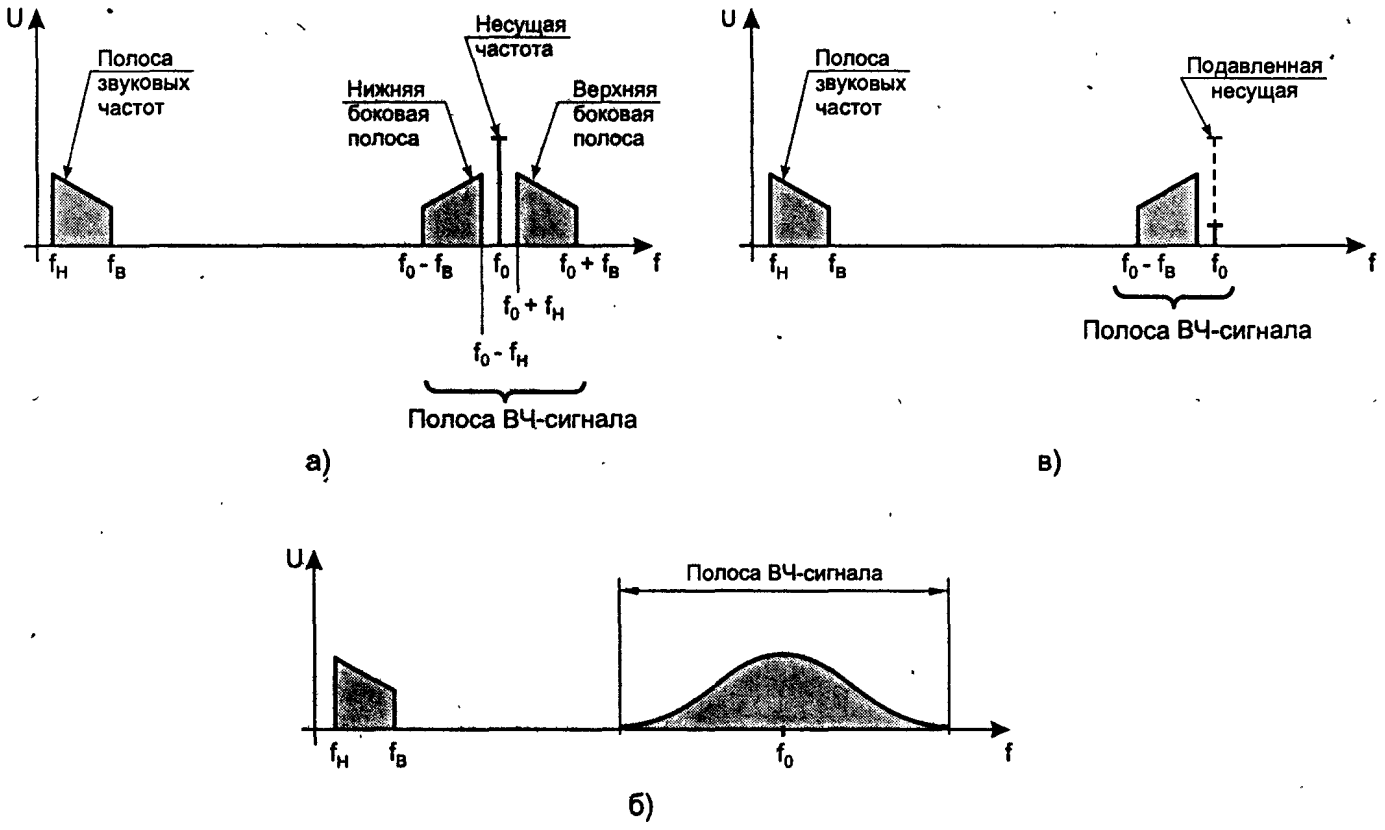


Рис. 12.2. Спектр ВЧ сигнала при модуляции: *а* — АМ; *б* — ЧМ; *в* — однополосный SSB сигнал

Следует знать, что представленный в аналоговом виде сигнал при трансляции его по радиоканалу подвергается воздействию различных помех и в этих условиях не удается передать его с точностью выше 3—5% (особенно если надо сделать это на большое расстояние). Для многих систем, предназначенных для дистанционного управления по радио, такая точность неприемлема, поэтому в настоящее время все большее распространение находят цифровые виды представления и передачи информации. Они позволяют обеспечить точность намного выше (практически любую требуемую).

В 1933 году **В. А. Котельников** доказал фундаментальную для теории и техники связи теорему (впоследствии названную его именем), которая объясняет, каким образом можно при помощи дискретных способов представления информации передать непрерывное (аналоговое) сообщение без потери информационной содержательности. Вообще-то этот «фокус» математикам был известен значительно раньше (с 1915 г.), но заслуга Котельникова заключается в том, что он показал, как можно применить на практике «чистую» науку. Это открытие оказало существенное влияние на конструирование цифровых систем связи.

Ну а пока вернемся к радиопередатчикам. Чтобы понять, как работает любой из них, сначала мы познакомимся с типовыми узлами.

Сердцем любого передатчика является генератор несущей частоты — **задающий генератор**. Он преобразует энергию источника питания постоянного тока в ВЧ энергию переменного тока. От параметров этого узла во многом зависит качество всего устройства. Генератор должен стабильно работать при различных температурах. Температурный диапазон может быть весьма широким: от −40 до +60 °С (представьте, что капитан корабля пользуется радиостанцией вблизи берегов Антарктиды или на экваторе). Для оценки возможных изменений частоты ЗГ используют такой параметр, как относительная нестабильность частоты (за определенный интервал времени): $\Delta f/f_0$, где Δf — максимальное отклонение частоты от номинального значения f_0.

Высокочастотные генераторы синусоидальных колебаний могут быть выполнены по одной из типовых схем, наиболее популярные из которых мы и рассмотрим. ■

Высокочастотные LC-генераторы

Любой усилитель можно превратить в генератор, введя в него положительную обратную связь с выхода на вход. То есть сигнал с выхода на вход должен поступать без фазового сдвига или со сдвигом, кратным 360 градусам. Тогда колебания будут «подстегивать» сами себя. В простейших схемах этого добиваются на нужной частоте за счет резонансных свойств индуктивно-емкостных цепей или RC-цепей. Величина сигнала обратной связи должна быть достаточной для поддержания колебаний в резонансном контуре путем компенсации имеющихся в нем потерь. Для этого коэффициент усиления каскада (по току или напряжению) обязательно должен быть больше 1.

При построении многих схем (и не только генераторов) часто используются параллельный и последовательный колебательные контуры, рис. 12.3. Из приведенных графиков видно, что при резонансе последовательного контура сопротивление прохождению сигнала минимально, а в параллельном контуре — максимально.

Ну а теперь давайте рассмотрим конкретнее автогенераторы. В брелках для дистанционного управления режимом работы охранной сигнализации по радиоканалу наиболее часто используются схемы, приведенные на рис. 12.4. В данном применении модулирующий сигнал — это кодовая последовательность импульсов, поступающих на базу транзистора (от микроконтроллера или другой специализированной микросхемы), рис. 12.4, *а* или же на питание каскада. На высоких частотах (300...450 МГц) катушку контура часто делают из проводников фольги прямо на печатной плате (она одновременно является и излучающей антенной). Работает такой передатчик тоже просто — импульсы, подаваемые на базу транзистора через резистор R1, то «включают» несущую, то «отключают» ее.

С некоторыми другими вариантами LC-генераторов мы с вами познакомимся на примере практических конструкций микромощных УКВ-передатчиков чуть позже. Такие генераторы работают на частотах до 400 МГц и применяются

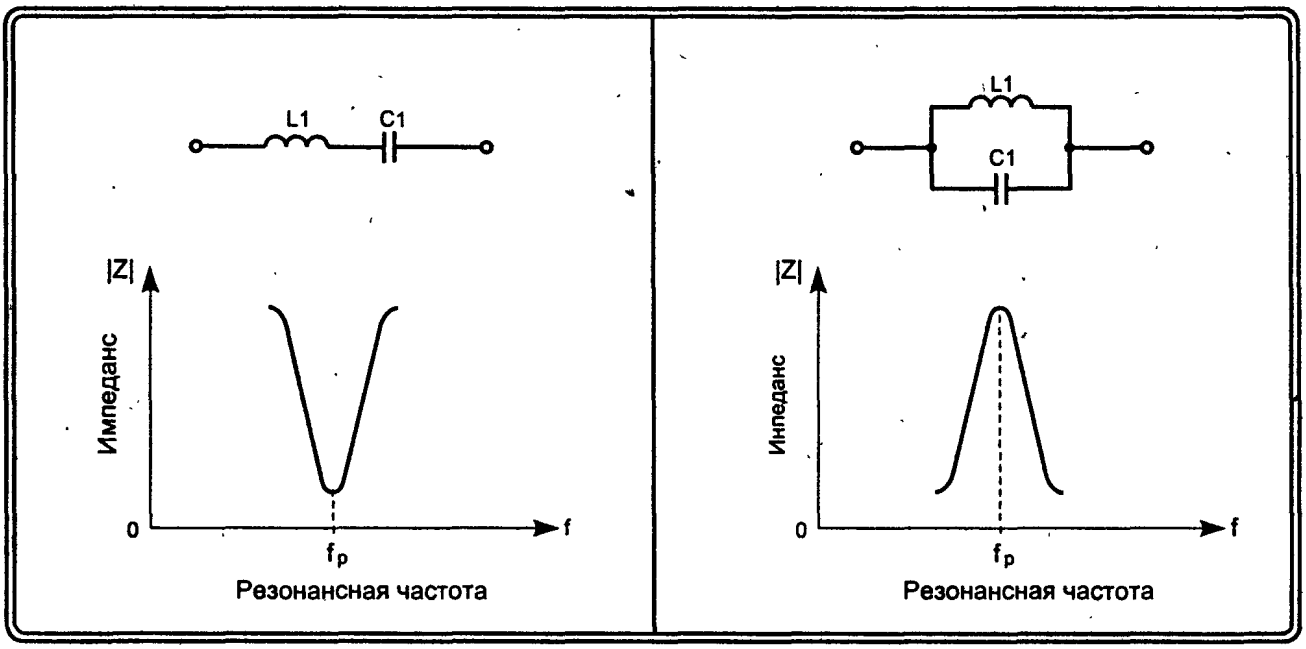


Рис. 12.3. Последовательный и параллельный контуры и их импеданс

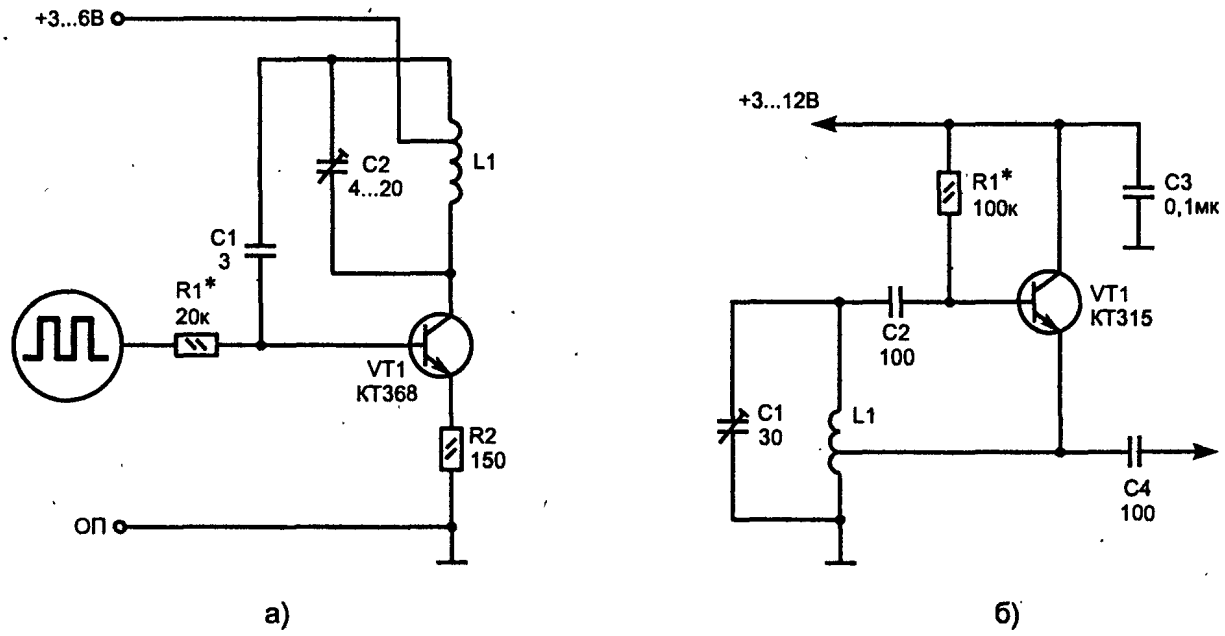


Рис. 12.4. Простейшие LC-генераторы

в простейших устройствах для передачи информации на небольшое расстояние, например для ретрансляции звукового сигнала, дистанционного управления игрушками, сигнализации и других.

Общим недостатком LC-генераторов является их невысокая стабильность частоты, обычно не лучше $\frac{\Delta f}{f_0} = 10^{-3}$. Объясняется это тем, что на параметры элементов схемы влияют изменения температуры, а параметры транзистора зависят не только от температуры, но еще и от изменений напряжения питания (емкости переходов внутри транзистора подключены к колебательному контуру, а они меняются в зависимости от приложенного напряжения). Представьте, что при изменении температуры катушка будет менять свои размеры, а значит,

и свою индуктивность. Но даже если использовать термостат для всего каскада, а также стабилизацию напряжения питания и режима работы транзистора, то все равно очень сложно получить стабильность частоты, близкую той, которую обеспечивают **кварцевые резонаторы.** ■

Генераторы с кварцевой стабилизацией частоты

В настоящее время в эфире интенсивно работает множество передающих средств. Поэтому, чтобы мощные передатчики не мешали друг другу, к ним предъявляются жесткие требования по долговременной относительной нестабильности частоты. Она должна быть не хуже, чем $10^{-5}...10^{-8}$. Проще всего обеспечить такие параметры, применив кварцевые резонаторы.

Кварцевые резонаторы имеют характеристики, очень похожие на характеристики электрических колебательных контуров, но с очень высокой добротностью ($Q = 10^4...10^6$) — у LC-контура добротность обычно не превышает 150...300. Еще одно отличие заключается в наличии двух видов резонансов: последовательного и параллельного, наблюдающихся у этого элемента на разных частотах, хотя и близких.

Эквивалентная схема кварцевого резонатора и изменение его полного сопротивления (импеданса) от частоты показаны на рис. 12.5. В небольших пределах частоту резонанса можно менять («затягивать») путем подключения конденсатора последовательно с кварцем (или параллельно — зависит от того, какой резонанс из двух возможных используется в схеме). Этот метод обычно применяют для получения частотной модуляции или более точной настройки частоты. Следует знать также, что отечественная промышленность, как правило, выпускает кварцевые резонаторы с основной рабочей частотой до 22 МГц, а более высокочастотные кварцы работают на своих гармониках. Это связано с устаревшей технологией обработки кварцевых пластин. Зарубежные предприятия выпускают кварцы с основной частотой до 35 МГц, а у ведущих фирм частота первой гармоники достигает 250 МГц. При выборе для генератора таких элементов особое внимание следует обращать на доб-

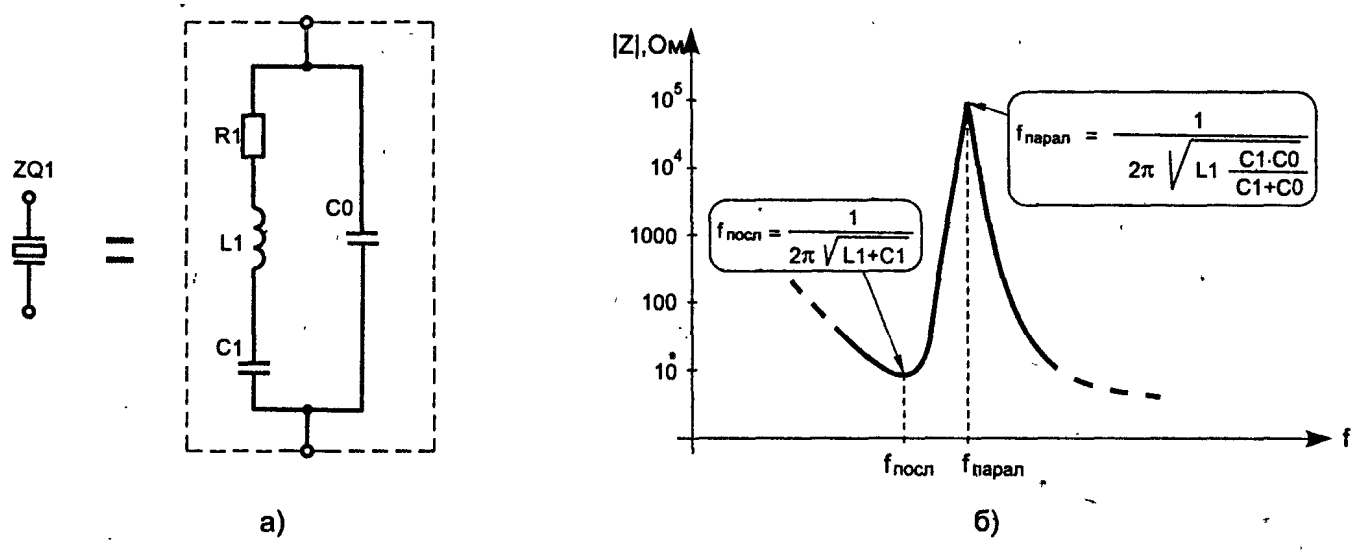


Рис. 12.5. Эквивалентная схема кварцевого резонатора (*а*) и изменение его импеданса от частоты (*б*)

ротность резонатора — чем она выше, тем стабильнее частота (и тем они дороже, к сожалению).

Существует много разновидностей схем кварцевых автогенераторов, но на практике на высоких частотах наиболее распространены два вида, в которых:

а) кварцевый резонатор включен в цепь обратной связи и используется как узкополосный фильтр, который эквивалентен активному сопротивлению на частоте резонанса (называют **генераторами последовательного резонанса**);

б) кварцевый резонатор является частью колебательного контура и эквивалентен индуктивности (их называют **осцилляторными генераторами**).

Схема генератора с «кварцем» в цепи обратной связи между коллектором и базой, приведена на рис. 12.6. Такие схемы применяют при работе резонатора на основной частоте до 30 МГц или до 90 МГц при возбуждении кварца на третьей гармонике (на соответствующую гармонику настраивается колебательный контур С3, L1). Если «кварц» работает на первой гармонике, то иногда в цепи коллектора ставят только катушку (дроссель) — это позволяет легко менять частотный канал заменой кварца (удобно для аппаратуры радиоуправления — не потребуется перестройки передатчика на соседний — не занятый кем-то другим канал).

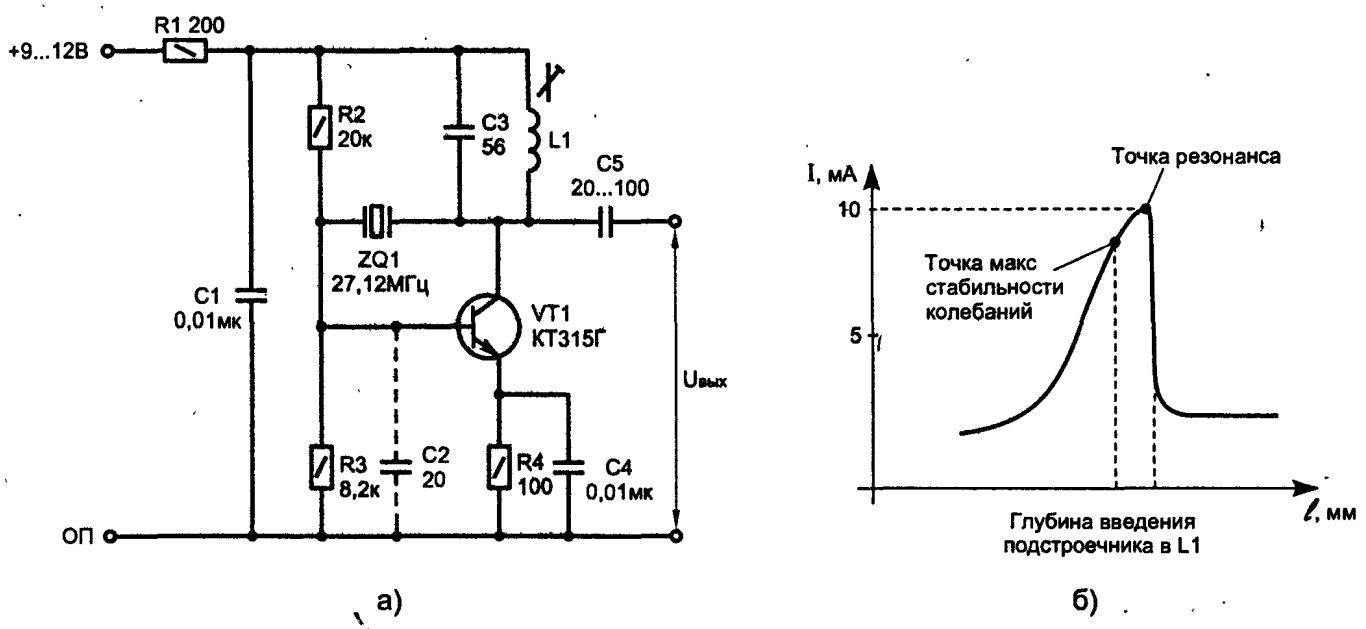


Рис. 12.6. Генератор со стабилизацией частоты кварцем, включенным между базой и коллектором (*а*), и резонансная кривая потребляемого схемой тока, используемая при настройке (*б*)

В схеме конденсаторы С1 и С4 являются блокирующими (закорачивают цепи по высокой частоте); С2 — облегчает запуск генератора и иногда может не устанавливаться. Резисторы R2, R3 задают режим работы транзистора по постоянному току, а R4 обеспечивает термостабилизацию рабочей точки каскада.

Довольно часто применяются генераторы с кварцевым резонатором, включенным между базой и общим проводом, рис. 12.7. Во всех таких схемах обратная связь организуется за счет падения напряжения на резисторе в цепи эмиттера, а значение конденсатора, устанавливаемого параллельно этому резистору (от него зависит величина этой связи), можно подобрать экспериментально. Аналогичная схема может быть выполнена и на полевых транзисторах

(рис. 12.7, *в*). Для того чтобы на работу таких генераторов не оказывали влияния следующие каскады, их входное сопротивление должно быть больше, чем у резистора, который стоит на выходе.

Для небольшой подстройки частоты резонатора (до ±200 Гц) иногда последовательно с кварцем включают конденсатор (это повышает частоту) или индуктивность (для понижения частоты).

Приведенные схемы особенно удобны для генераторов с электронной перестройкой частоты, выполняемой при помощи варикапа — вариант такой схемы показан на рис. 12.3, *г*. На варикап подается постоянное обратное напряжение, от величины которого зависит его начальная емкость, а изменение емкости происходит под действием низкочастотного модулирующего сигнала. При частотной модуляции девиация частоты зависит от амплитуды модулирующего сигнала.

Максимальная достижимая мощность сигнала на выходе таких генераторов ограничена величиной тока высокой частоты, проходящей через «кварц». По

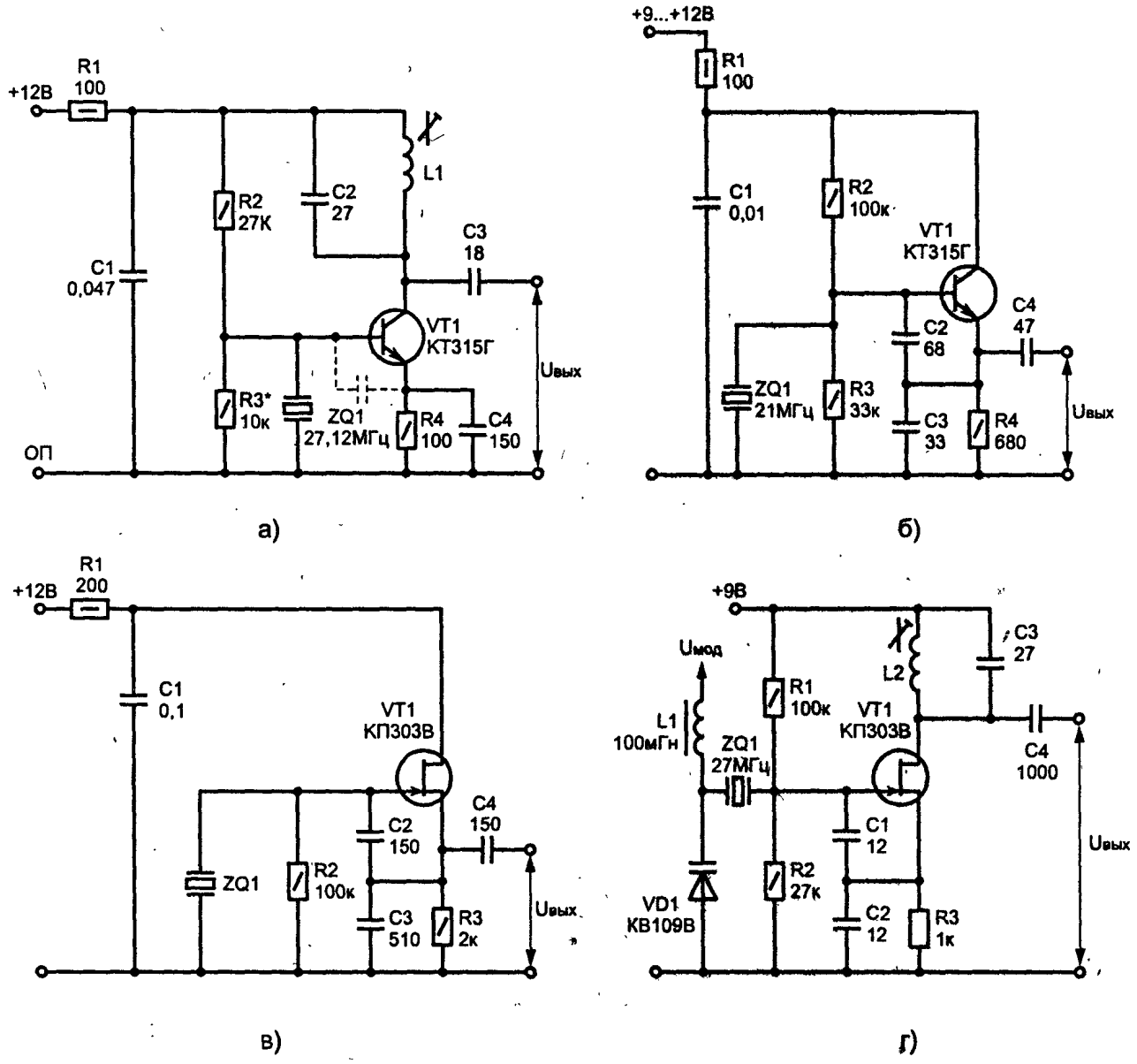


Рис. 12.7. Генераторы с кварцевым резонатором, включенным между базой и общим проводом (*а, б*), схема на полевом транзисторе (*в*) и генератор с электронной перестройкой частоты варикапом при ЧМ модуляции (*г*)

техническим условиям рассеиваемая мощность на кварцевом резонаторе не должна превышать 1...2 мВт, а для повышения стабильности генератора ее следует уменьшить до величины 0,1...0,2 мВт. Поэтому для получения необходимой мощности в антенне после задающего генератора всегда ставят дополнительные каскады усилителей.

С другими видами кварцевых генераторов можно познакомиться в литературе, например [1]. ■

Режимы работы ВЧ усилителей

Любой каскад усиления сигнала может работать в одном из режимов, названных буквами латинского алфавита: A, B, C или AB (существуют еще усилители классов D и E, но они не используются на высоких частотах, поэтому мы их рассматривать не будем). Отличие между режимами заключается в выборе рабочей точки усилительного каскада. Это поясняет рис. 12.8.

Рабочая точка в усилителях **класса A** смещена таким образом, что через транзистор коллекторный ток протекает всегда. Входной сигнал усиливается без искажений, но коэффициент полезного действия (КПД) в лучшем случае может быть не более 50%. В таком режиме обычно работают маломощные каскады передатчика.

В режиме **класса B** смещения рабочей точки у транзисторов нет (точнее, она является нулевой). Транзистор начнет усиливать сигнал, как только входное напряжение превысит уровень 0,6 В (с этим режимом вы уже знакомы по разделу, посвященному усилителям низкой частоты). При использовании двухтактного каскада транзисторы будут работать по очереди (каждый в течение одного полупериода входного сигнала), но в точке перехода напряжения через ноль из-за нелинейности характеристики наблюдаются небольшие искажения. КПД схемы может составить до 78%. Такой режим работы применяется в мощных выходных каскадах.

Чтобы устранить искажения при переходе напряжения через нуль, иногда используют режим **класса AB** — когда на базу подается небольшое приоткрывающее транзистор напряжение (появляется ток покоя). Это выравнивает выходную характеристику, но снижает КПД каскада. Схема для этого режима может быть такой же, как и для каскада в режиме класса A, только соотношение резисторов R1—R2 будет другим.

В высокочастотных усилителях довольно часто применяют режим **класса C**. Рабочая точка у такого усилителя смещается за пределы области отсечки, и транзистор открывается только при максимальных значениях входного сигнала. Несмотря на то, что сигнал на выходе усилителя сильно искажен и содержит много гармоник, синусоидальная форма восстанавливается благодаря резонансной нагрузке. Ну а так как пока транзистор закрыт — тока в цепи коллектора нет, КПД такой схемы теоретически может достигать почти 90%.

Режим класса C удобен еще и тем, что его можно использовать для умножения входного сигнала в 2 или 3 раза. Причем в результате исследований была установлена зависимость уровней гармоник сигнала от угла отсечки Θ выходного тока. Оказалось, что максимальный уровень первой гармоники получает-

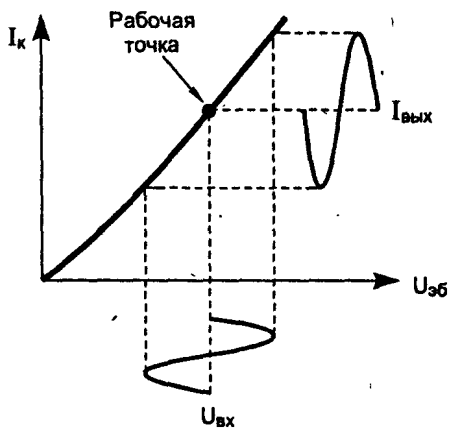
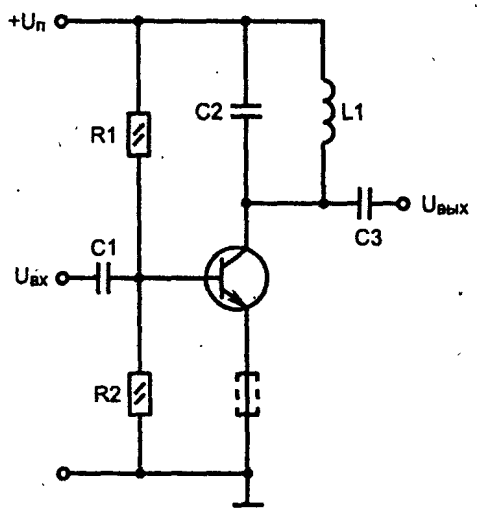
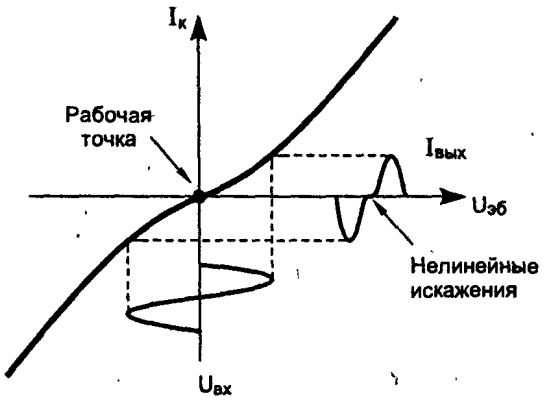
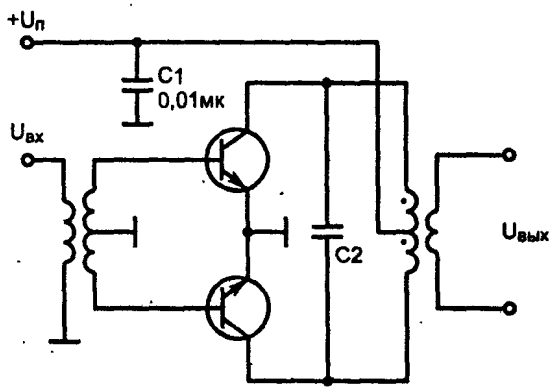
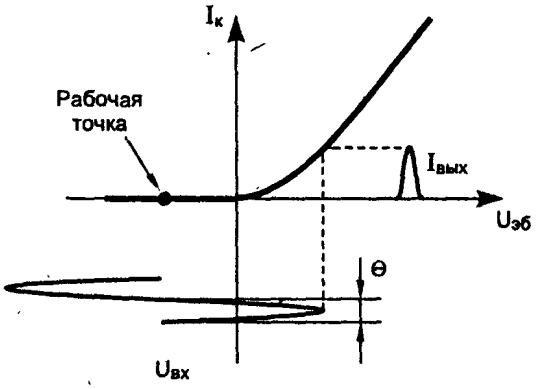
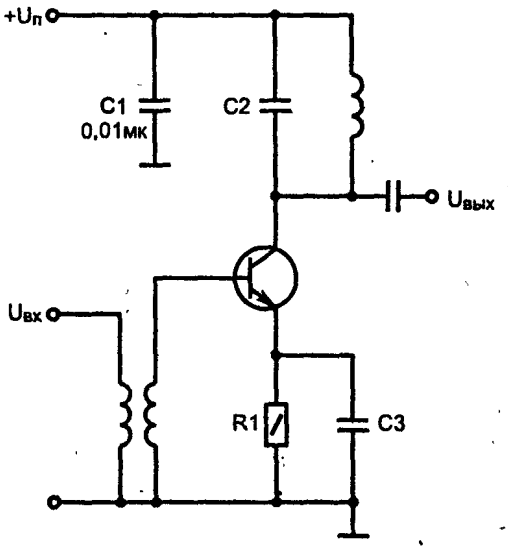
	Типичные характеристики	Пример схемы
Режим А		
Режим В		
Режим С		

Рис. 12.8. Распространенные режимы работы ВЧ усилителей

ся при угле отсечки 120°, второй — 60°, третьей — 40° (это используется разработчиками при расчете схемы). Так как амплитуда гармоники с увеличением ее номера значительно уменьшается, умножение более чем в 3 раза в одном каскаде не используется.

Конечно, при работе усилителя никто не измеряет угол отсечки, но, настраивая контур в цепи коллектора на нужную гармонику и меняя угол отсечки (при помощи напряжения задающего рабочую точку), можно получить максимальный уровень сигнала.

Общим требованием к каскадам, работающим в усилителе мощности, является их согласование между собой по импедансу.

Следует также знать, что для увеличения дальности приема в два раза необходимо мощность передатчика увеличить в 4 раза. Того же эффекта можно добиться увеличением чувствительности приемника в 2 раза, то есть энергетически выгоднее увеличивать чувствительность приемника. Но здесь есть ограничение, которое связано с шумами эфира и собственными шумами схемы приемника. Поэтому полезный сигнал в точке приема должен в любых условиях превышать уровень шума в несколько раз. ■

Особенности настройки передатчиков

Самое лучшее из всех доказательств есть опыт.

Френсис Бэкон

Каждый передатчик имеет свои особенности, но есть некоторые общие правила, которые следует знать, — это ускорит получение нужного конечного результата. Дальнейшее описание практических схем будет подразумевать, что элементарные сведения вы хорошо запомнили. К тому же для настройки передатчиков вам потребуется несколько простейших приспособлений, на которых следует остановиться подробнее.

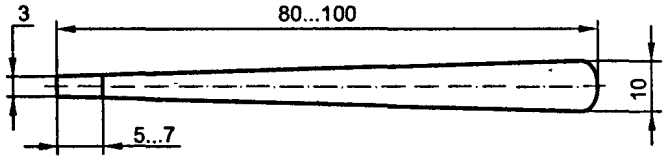


Рис. 12.9. Вид диэлектрической отвертки для настройки высокочастотных каскадов

Прежде всего перед тем, как приступать к настройке ВЧ части, вам нужно приобрести или изготовить самостоятельно отвертку с диэлектрическим жалом. Это позволит прокручивать подстроечные конденсаторы и сердечники катушек, не внося в контур емкость (металлическая отвертка является миниатюрной антенной, которая добавляет небольшую емкость в контур, и, как только вы ее уберете — настройка «уйдет»). Такую отвертку можно сделать из пластинки (шириной 5...10 мм) любого толстого (3...3,5 мм) диэлектрика (текстолит, стеклотекстолит), заточив напильником конец (жало) как у отвертки, рис. 12.9.

Желательно также сразу приобрести несохнущий (вязкий) герметик (бывает белого цвета). Он используется для смазывания сердечников перед их вкручиванием в катушку. Это позволит быть уверенным, что после того как вы настроили контур, настройка не изменится от вибрации или тряски. Сердечники

можно защищать от сдвига путем их заливки парафином или краской, но это менее удобно, так как в процессе экспериментов может потребоваться еще раз подстроить контур, что сделать будет уже затруднительно.

Настройка высокочастотной части передатчика всегда начинается с задающего автогенератора. Если в коллекторной цепи стоит параллельный контур, то при отсутствии высокочастотных измерительных приборов добиться работы генератора можно, установив в цепь питания миллиамперметр для контроля потребляемого тока — при возникновении генерации ток увеличивается.

Для обеспечения надежной работы автогенераторов с кварцевой стабилизацией частоты следует учитывать, что они имеют точку резонанса рядом с точкой срыва генерации. Если настройка производится ввертыванием подстроечника в катушку, то ток коллектора изменяется в соответствии с кривой, показанной на рис. 12.6, *б*. При настройке надо найти максимум потребляемого тока, после чего повернуть сердечник назад на пол-оборота. В этом случае генератор будет работать наиболее устойчиво.

Настройка последующих каскадов заключается в получении максимального уровня ВЧ сигнала на выходе. Тут не обойтись без специальных приспособлений, одно из которых — эквивалентная антенне нагрузка (исключением являются микромощные передатчики, которые настраиваются прямо с подключенной антенной по индикатору поля). Следует знать, что некоторые мощные радиопередатчики вообще не допускают работу без нагрузки — их выходные каскады могут сгореть без антенны или ее эквивалента.

Как можно изготовить нагрузку, эквивалентную антенне, показано на рис. 12.10. Она состоит из четырех включенных параллельно резисторов на конце 50-омного кабеля (тут имеется в виду волновое сопротивление кабеля, которое омметром не измерить). Подойдут резисторы типа МЛТ или С2-23 мощностью 1 Вт. Выводы у них скручиваются между собой и припаиваются к кабелю при минимальной длине. К нагрузочным резисторам подключен детектор, что позволяет контролировать сигнал низкочастотными приборами.

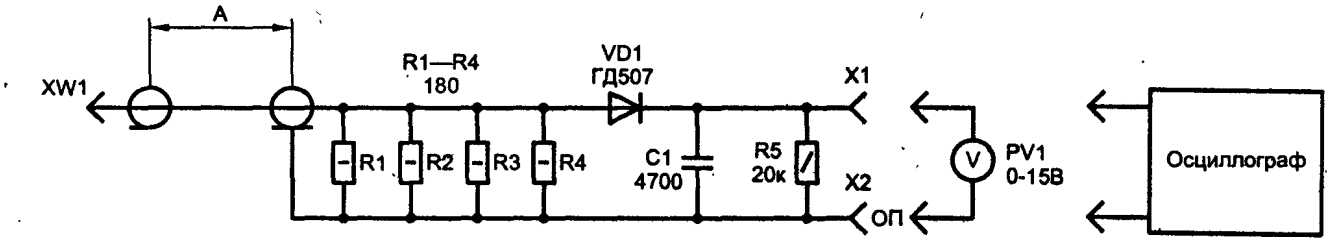


Рис. 12.10. Эквивалентная антенне нагрузка для настройки передатчика мощностью до 4 Вт

Теперь о сопротивлении, которое следует использовать в качестве эквивалента. Его величина для изготовления нагрузки зависит от типа антенны, которую вы будете использовать, а если точнее — от ее входного сопротивления. Активная часть входного сопротивления настроенной антенны зависит от отношения ее длины к длине волны. Вот несколько ориентировочных цифр для выбора резистора эквивалента:

- для штыревой антенны (длиной $\lambda/4$) 36...37 Ом
- для диполя (два штыря длиной по $\lambda/4$) 72...75 Ом

Так как волновое сопротивление антенны зависит не только от ее длины (l), но и от диаметра стержня (d) из которого она сделана, для любых размеров более точно можно посчитать из формул [2]:

- для штыревой антенны (длиной $\lambda/4$) $Z = 60 \cdot \ln(1{,}15 \cdot \frac{l}{d})$;
- для диполя (два штыря длиной по $\lambda/4$) $Z = 120 \cdot \ln(0{,}575 \cdot \frac{l}{d})$,

где l и d — в сантиметрах, тогда Z получится в омах.

Так как установлено, что простейшая антенна — полуволновой диполь, имеет входное сопротивление в точке подключения 75 Ом, его удобно запитывать коаксиальным кабелем с соответствующим волновым сопротивлением. На практике **в переносных устройствах** такие длинные антенны не используются из-за их больших размеров. Ну а любая укороченная антенна будет иметь меньшее входное (волновое) сопротивление, к тому же это сопротивление будет иметь еще реактивную составляющую, что приводит к необходимости не только согласовывать выходное сопротивление передатчика с антенной, но и подстраивать его под саму антенну. Но, чтобы не засорять эфир помехами, предварительную настройку и контроль параметров удобнее проводить все же на чисто активном эквиваленте антенны.

Длина кабеля (A) от передатчика до нагрузки зависит от частоты ВЧ сигнала и для того, чтобы входное сопротивление самого кабеля было чисто активным, лучше, если его длина будет кратна значениям

$$A = n\frac{\lambda}{4},$$

где n — коэффициент укорочения длины волны в линии — он зависит от диэлектрического материала, из которого изготовлен кабель. Этот коэффициент показывает, во сколько раз длина волны в линии $\lambda_к$ будет меньше, чем в окружающем пространстве λ ($n = \lambda_к/\lambda$). Для большинства наиболее распространенных отечественных коаксиальных кабелей со сплошной изоляцией из полиэтилена $n = 0{,}66$.

Последним этапом настройки передатчика является проверка его работы с реальной антенной и подстройка согласования при помощи индикатора поля — по максимуму показаний. В данном случае индикатор поля, пожалуй, один из самых простых и необходимых приборов. Его легко можно изготовить самостоятельно.

Настройка антенны. Большинство антенн может так же эффективно, как на прием, работать и на передачу сигнала. Передающая антенна способна превращать (преобразовывать) высокочастотные колебания на выходе передатчика в энергию электромагнитного поля, излучаемую в пространство. Причем делать это надо с высоким КПД. Как такое преобразование происходит? Ведь в катушке и конденсаторе имеются концентрированные магнитные (Н) и электрические (Е) поля, но они не излучают (точнее — довольно плохо излучают) в пространство волну. Для того чтобы получить электромагнитную волну, надо закрытый колебательный контур превратить в открытый. Как это можно сделать, поясняет рис. 12.11 (емкость, которая была раньше расположена в одном

месте, теперь будет рассредоточена по всей площади между стержнями). Направление стрелок поля показано условно для одного полупериода волны, а во втором оно изменится на противоположное.

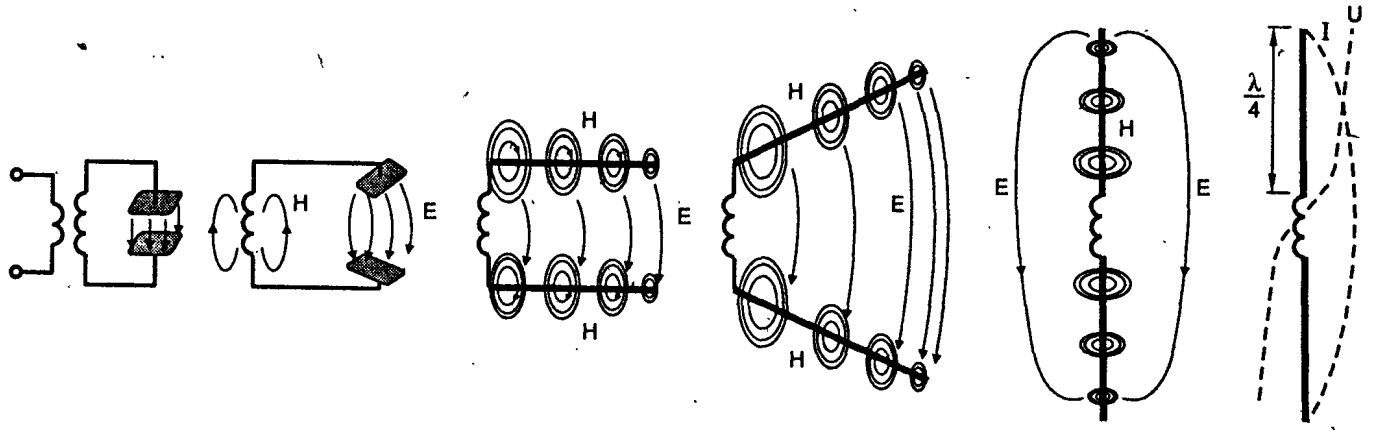


Рис. 12.11. Пояснение принципа работы передающей антенны, где H — силовые линии магнитного поля, E — силовые линии электрического поля

Мы не видим радиоволн, но их обнаружить и оценить уровень ВЧ энергии можно при помощи простейших приспособлений, называемых индикаторами поля. Ведь, как вы уже знаете из предыдущих разделов, в любом проводнике, находящемся в электромагнитном поле, наводится ЭДС.

Первый вариант такой приставки показан на рис. 12.12. В нем вы наверняка узнаете простейший детекторный приемник! Подключение разных конденсаторов позволяет настраивать входной контур в резонанс на разные частоты или же (когда не подключены конденсаторы) применять просто как нерезонансный (всечастотный) индикатор поля. В этом случае диапазон частот поля, которые можно обнаружить таким устройством, зависит только от типа детекторного диода (с тем, что указан на схеме, верхняя частота доходит до 600 МГц). Для работы схемы индикатора поля на частотах в десятки МГц вполне подойдут любые детекторные германиевые диоды (Д2, Д9, Д18, или импортные GA100, 1N34). Если же у вас возникнут трудности с приобретением диодных детекторов, то можно выйти из положения при помощи любого маломощного высокочастотного транзистора, включив его переход эмиттер-база как диод.

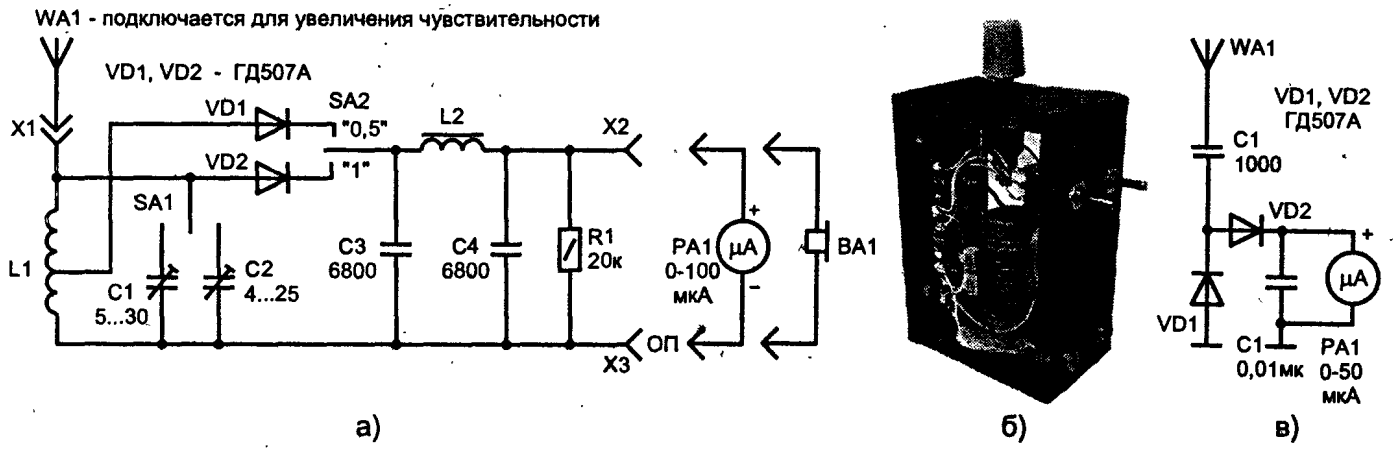


Рис. 12.12. Схема универсального индикатора поля для согласования передатчика с антенной (*а*) и внешний вид конструкции (*б*), а также упрощенный вариант индикатора поля с умножающим на 2 детектором (*в*)

Конденсаторы С3 и С4 керамические, подойдут с любыми ближайшими номиналами из ряда. Дроссель L1 использован стандартный, типа ДМ-0,2 — 60 мкГн, или может быть изготовлен самостоятельно, для чего придется намотать 60 витков проводом диаметром 0,08...0,1 мм (ПЭВ) на корпусе резистора МЛТ мощностью 0,5 Вт (резистор для каркаса берется с сопротивлением более 1...2 кОм). Впрочем, без него тоже все будет работать, но лучше все же дроссель поставить — он не позволит длинным соединительным проводам, идущим до индикатора, «думать», что они тоже являются антенной.

К выходным клеммам подключается любой микроамперметр, когда надо оценить уровень сигнала, или же телефонный капсюль с высоким сопротивлением, который позволяет на слух контролировать качество амплитудной модуляции. Наведенное в катушке напряжение, а значит, и ток через прибор PA1 будут пропорциональны напряженности поля в этом месте пространства. Форму модулирующего сигнала можно посмотреть при помощи осциллографа.

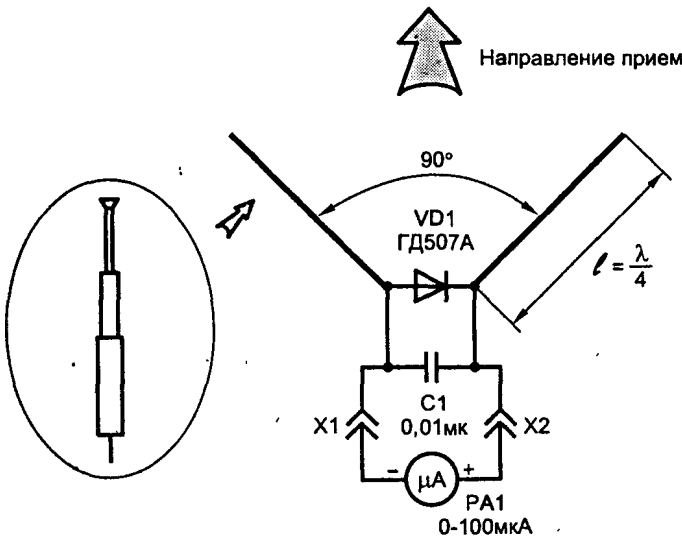


Рис. 12.13. Универсальный направленный индикатор напряженности поля

Такой индикатор поля не имеет направленности, т. е. одинаково принимает сигнал с любого направления. Чтобы выполнить направленный индикатор поля для УКВ диапазона, можно воспользоваться телескопической «двухроговой» антенной от телевизора. Внутреннюю коробочку, на которой закреплены выдвижные штыри, вскрываем и размещаем там детекторный диод и конденсатор, подключенный к внешнему микроамперметру, рис. 12.13. Если провода, идущие до измерительного прибора длинные, то их лучше перевить между собой или использовать экранированный провод.

Наиболее острая направленность приема поля получается при угле между штырями в 90 градусов. Удобство данной конструкции заключается в том, что этот индикатор легко превратить в ненаправленный, развернув штыри на одну линию. Частотная избирательность обеспечивается за счет синхронного изменения длины выдвижных штырей — они должны иметь размер примерно $\lambda/4$. Так, для частоты 433 МГц их длина получается по 16 см (если вам не нужен универсальный индикатор поля, то штыри можно сделать фиксированной длины из толстого медного провода).

Мы с вами рассмотрели так называемые «пассивные» индикаторы поля. Их возможностей вполне достаточно для большинства задач. Но существуют еще и «активные», когда перед индикатором ставится простейший усилитель постоянного тока, или же на входе до детектора используется еще и ВЧ усилитель. Так как необходимости в таких приборах у вас в ближайшее время скорее всего не возникнет, мы их здесь рассматривать не будем. ■

Микромощные радиопередатчики

Делай что хочешь, но так, чтобы не
лишиться этой возможности.

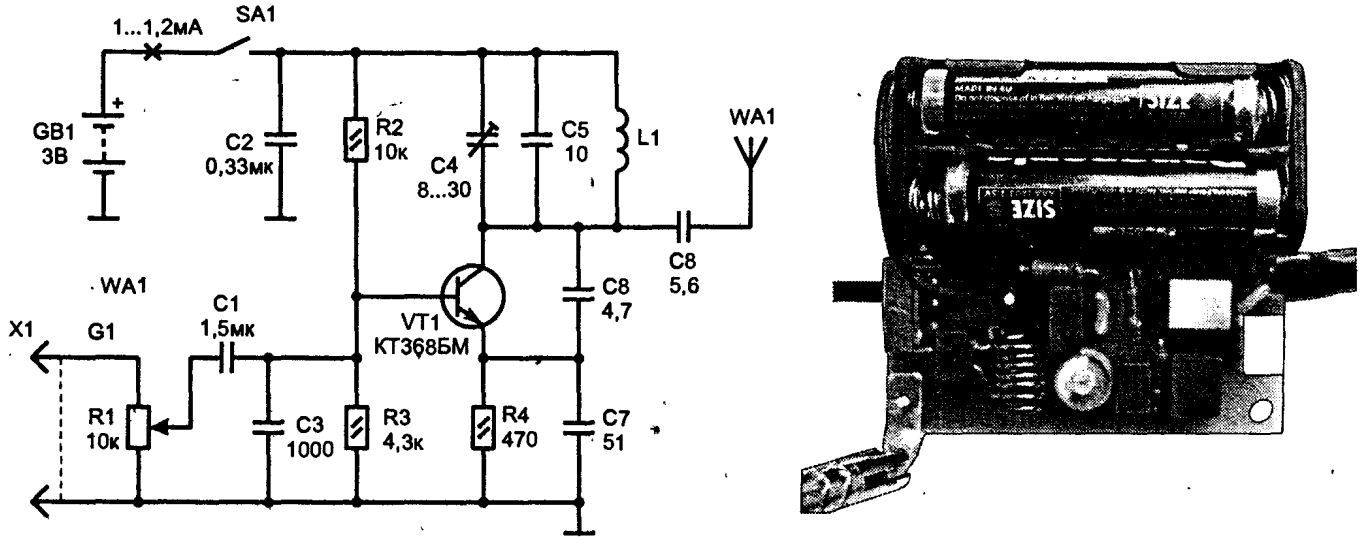
Аркадий Давидович

В эту категорию попадают все радиопередатчики, у которых выходной сигнал в антенне имеет мощность до 10...50 мВт. Например, максимальная мощность радиопередатчика в брелке для дистанционного управления сигнализацией не превышает 25 мВт. Такие передатчики не требуют регистрации, так как их зона действия ограничена прямой видимостью и обычно не превышает 100 м. Для некоторых бытовых применений, с которыми вы сможете познакомиться на практике, такого расстояния вполне достаточно. ■

Ретрансляция звука телевизора или магнитофона

Этот довольно простой передатчик может использоваться совместно с любым бытовым радиоприемником (самодельным или промышленным), имеющим отечественный УКВ диапазон (65,8...73,0 МГц). Его основное назначение — ретрансляция по радиоканалу звукового сопровождения от телевизора, магнитофона (плеера) или звуковой карты компьютера. Передатчик (рис. 12.14) подключается к линейному выходу источника звукового сигнала. Например, в телевизоре им может являться выход, предназначенный для подключения наушников. В этом случае вы сможете слушать звуковое сопровождение, не мешая окружающим отдыхать и не путаясь в длинных соединительных проводах от наушников. Антенной радиопередатчика является телескопический штырь от любого бытового радиоприемника или можно использовать толстый медный провод длиной 30 см (диаметром 2—3,5 мм).

Схема передатчика — классический автогенератор, работающий прямо на антенну. Конденсатор С8 уменьшает влияние антенны на частоту генератора.



а) б)

Рис. 12.14. Схема передатчика-ретранслятора (*а*) и вид монтажа (*б*)

Частотная модуляция осуществляется за счет изменения режима работы транзистора (при этом меняются его внутренние емкости).

Приведенный вариант передатчика имеет автономное питание (от двух любых гальванических элементов типоразмера ААА) и потребляет ток не более 1,2 мА. Это обеспечивает его непрерывную работу в течение не менее 1000 ч. А мощности передатчика вполне достаточно для приема сигнала в радиусе 15...30 м. При желании можно увеличить питающее напряжение до 9 В, соответствующим образом увеличив номиналы резисторов R2, R3.

Топология печатной платы и расположение элементов показаны на рис. 12.15.

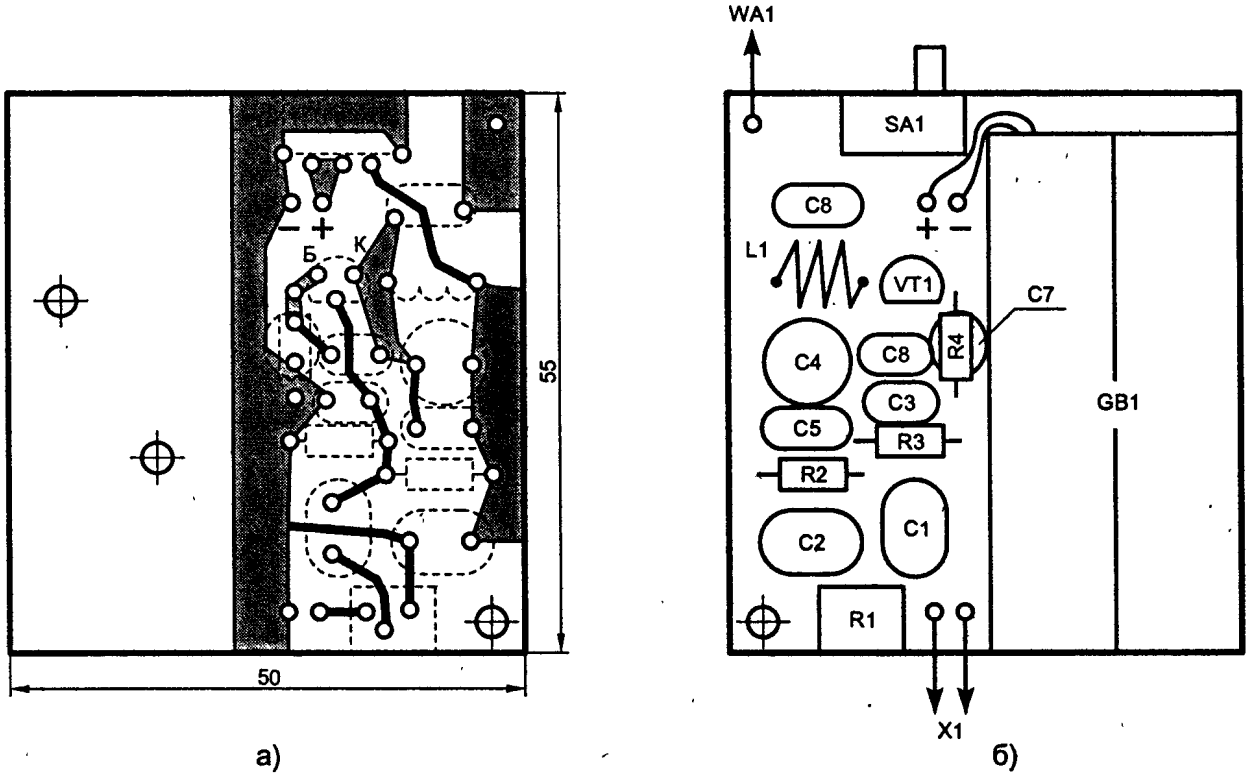


Рис. 12.15. Топология печатной платы (*а*) и расположение элементов (*б*)

При монтаже использовались следующие радиодетали: подстроечный резистор R1 типа СП3-19а (или СП3-19б), все постоянные резисторы С2-23; подстроечный конденсатор С4 типа КТ4-23 (или КТ4-25б), постоянные конденсаторы — любые малогабаритные керамические, например типа К10-17, К10-23 и т. п. Микропереключатель SA1 из серии ПД — он должен иметь боковые выводы, предназначенные для распайки прямо в плату (на них он и закрепляется). Для установки элементов питания использован унифицированный пластмассовый отсек (его удобнее купить уже готовым).

Катушку L1 придется изготовить самостоятельно. Она бескаркасная и наматывается на оправке диаметром 5 мм обмоточным проводом (ПЭВ, ПЭЛ) диаметром 0,7...1,0 мм — всего 7 витков. В качестве временного каркаса для намотки можно взять стержень от гелевой авторучки — он как раз имеет нужный диаметр.

Убедиться в работе автогенератора можно по любому индикатору поля, расположенному рядом с антенной. Настройка схемы проводится по радиоприемнику и заключается в выборе рабочей частоты передатчика на незанятом участ-

ке УКВ диапазона, после чего устанавливаем уровень модулирующего звукового сигнала резистором R1 так, чтобы не было заметно искажений звука в приемнике. ■

Прослушивание телефонного разговора

Схема передатчика приведена на рис. 12.16. Это устройство позволяет дистанционно прослушивать телефонные разговоры, которые ведутся на вашем телефонном аппарате. В нем роль антенны выполняют провода телефонной линии. Без применения внешней антенны WA1 радиус действия с большинством бытовых радиоприемников, имеющих УКВ диапазон, — до 50 м. Для увеличения дальности, кроме применения антенны (подойдет отрезок любого многожильного провода длиной 30...40 см), необходимо использовать приемник с высокой чувствительностью.

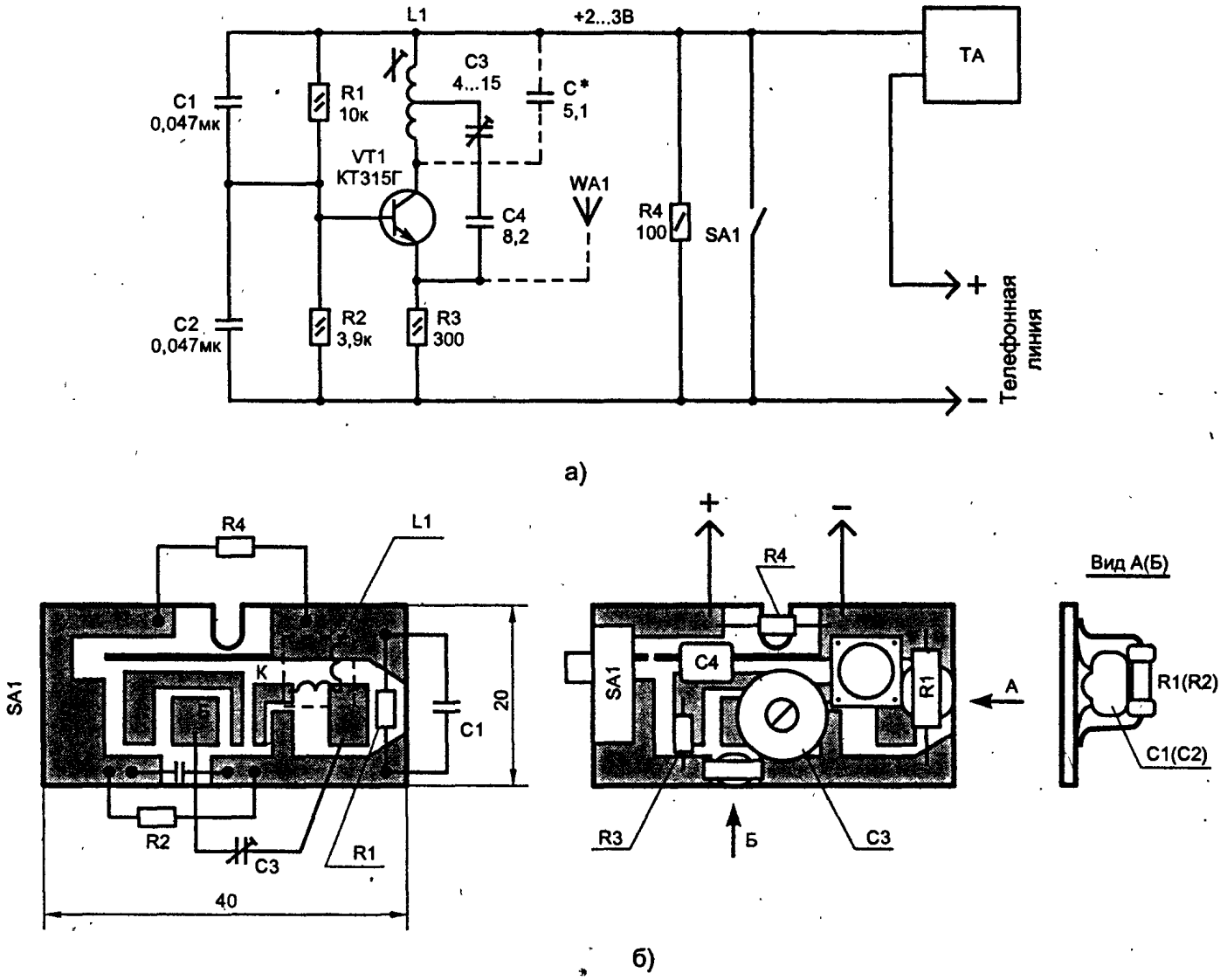


Рис. 12.16. Схема УКВ ЧМ передатчика (*а*) и печатная плата для его сборки (*б*)

В передатчике выполняется частотная модуляция, и он рассчитан на работу в диапазоне частот 63...80 МГц. Этот диапазон выделен для музыкальных радиостанций, но даже в крупных городах на краях его есть участки еще не заня-

тые. Чтобы радиовещательные станции не мешали прослушиванию разговора, наш передатчик настраивается на любые свободные частоты.

Схема включается в разрыв телефонной линии между телефонным аппаратом, как это показано (обязательно с учетом полярности). Она питается от линии только во время разговора, когда поднята телефонная трубка и в цепи через резистор R4 протекает ток.

Частотная модуляция в передатчике получается за счет изменения внутренней емкости транзистора. Это происходит при колебаниях напряжения питания схемы за счет протекания тока в линии ТА при разговоре.

При сборке использованы следующие детали: конденсаторы С1 и С2 могут иметь номиналы 0,022...0,068 мкФ, подстроечный конденсатор С3 типа КПКМ, а остальные резисторы и конденсаторы могут быть малогабаритными любого типа. Катушка L1 наматывается на каркас диаметром 5 мм проводом ПЭВ 0,23 мм и содержит 5 + 5 витков. Транзистор КТ315Г можно заменить на КТ3102А, а использовать другие транзисторы не рекомендуется, так как при этом сильно возрастает уровень гармоник, которые могут создавать помехи в других диапазонах. При указанных на схеме деталях уровень второй гармоники передатчика меньше на 40...45 дБ относительно основной частоты.

Схема передатчика была собрана на односторонней печатной плате (без отверстий) размером 20 × 40 мм, к контактным площадкам которой припаиваются элементы (рис. 12.16, *б*). Для увеличения плотности монтажа некоторые элементы располагаются друг над другом, например, транзистор VT1 находится под конденсатором С3. Размеры платы позволяют разместить ее в корпусе стандартного телефонного гнезда.

Перед настройкой передатчика необходимо подключить его к телефонной линии и при снятой трубке замерить напряжение на резисторе R4 — оно должно быть в диапазоне от 2 до 3,5 В. Если напряжение окажется больше, то следует уменьшить сопротивление этого резистора.

Настройка схемы заключается в перестройке автогенератора сердечником катушки L1 (сердечник может быть из высокочастотного феррита 100НН) на нужную частоту УКВ диапазона, а после этого конденсатором С3 надо подстроить передатчик, контролируя прием по качеству звука на слух. Настройку на нужную частоту, если нет высокочастотного ферритового сердечника, можно выполнить и подбором емкости контура, показанного на схеме пунктиром, или раздвигая витки катушки, но это менее удобно. ■

Радиомикрофон на одном транзисторе

Радиомикрофонами называют все устройства, способные передавать звуковую информацию по радиоканалу. Два варианта схем для превращения микрофона в радиомикрофон показаны на рис. 12.17. Они могут питаться от любых батареек с общим напряжением 3 В. Напряжение питания можно увеличить до 6...9 В, но в этом случае резистор в цепи базы транзистора потребуется увеличить до 15 кОм, а резистор в цепи эмиттера — до 820...1000 Ом.

Антенной может служить отрезок любого гибкого (многожильного) провода длиной 20...30 см. Для того чтобы параметры антенны меньше влияли на рабо-

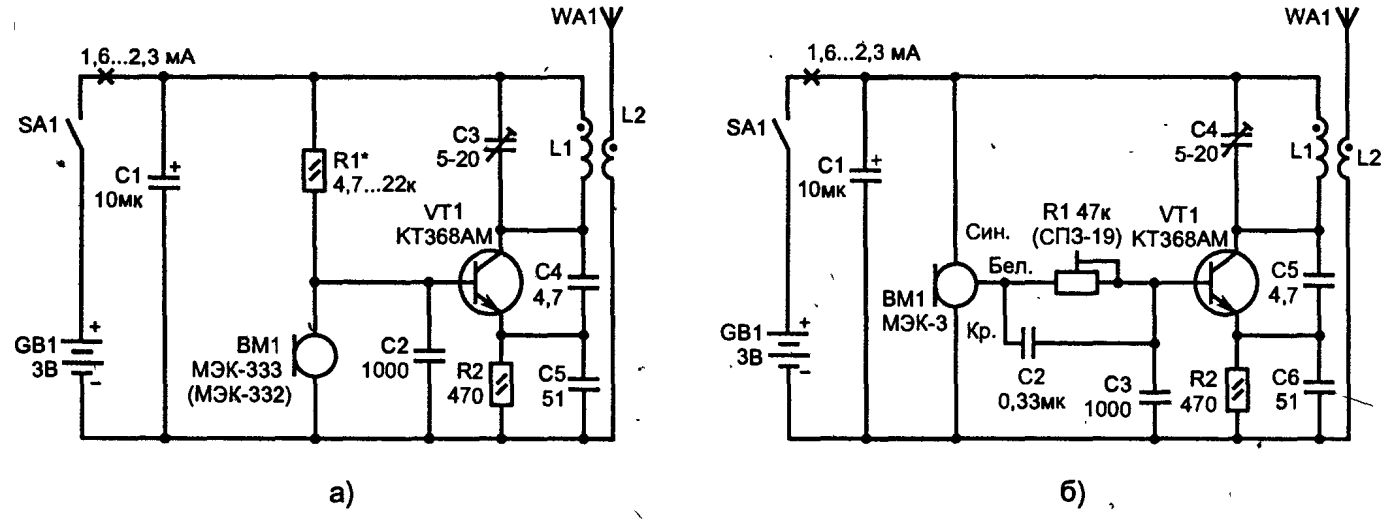


Рис. 12.17. Варианты выполнения радиомикрофона на одном транзисторе для разных типов электретных микрофонов

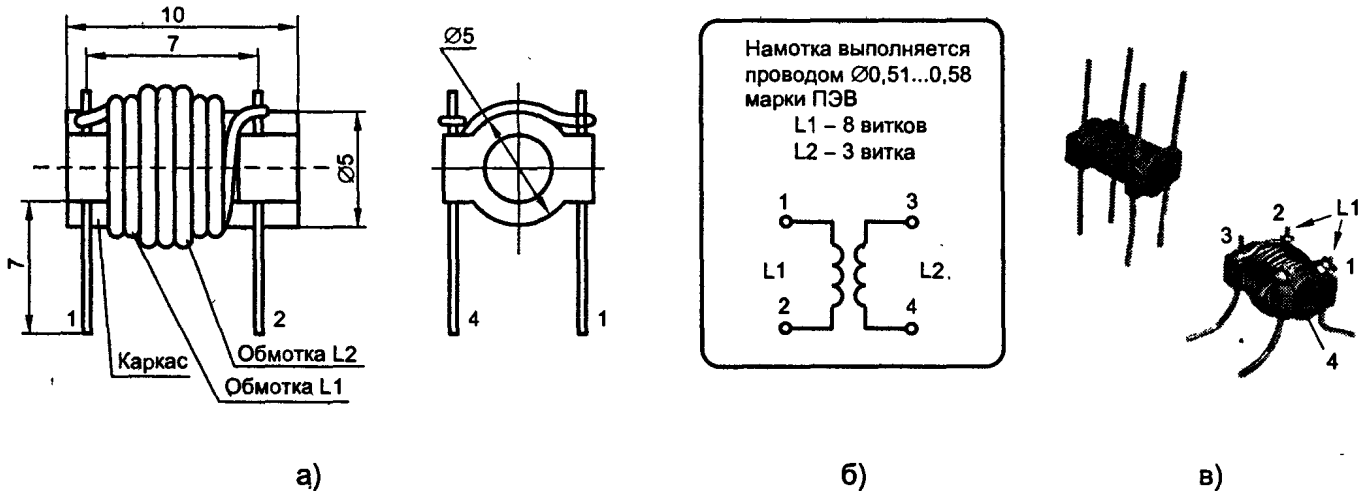


Рис. 12.18. Унифицированная конструкция каркаса и намотка катушек L1—L2 (*а*), их намоточные данные (*б*) и внешний вид

ту автогенератора, связь ее с колебательным контуром сделана индуктивной. Катушка L2 наматывается над L1 — все данные для намотки приведены на рис. 12.18. Для изготовления катушек удобно использовать унифицированный каркас из термостойкой пластмассы диаметром 5 мм, показанный на рисунке, но в крайнем случае подойдет любая оправка из диэлектрика с таким же диаметром (например, стержень от гелиевой авторучки).

Кроме указанных на схеме электретных микрофонов, скорее всего подойдут и другие типы, например аналогичные импортные (см. главу 7). Все постоянные конденсаторы — малогабаритные керамические (К10-17, К10-23 и т. п.), подстроечный конденсатор — типа КТ4-23 (или КТ4-25б).

Для монтажа элементов можно воспользоваться контактной колодкой с лепестками или универсальной макетной платой, вырезав ее под имеющийся подходящий корпус.

Чтобы получить приемлемые параметры, за простоту схемы в радиотехнике довольно часто приходится платить сложностью настройки. Это и неудивительно, ведь работа всей схемы зависит от конкретного транзистора, который

может иметь существенный разброс по коэффициенту усиления и другим паспортным характеристикам. Но, в конечном итоге, повозившись некоторое время и поэкспериментировав с номиналами элементов, эту схему можно заставить хорошо работать и с другими высокочастотными транзисторами, кроме тех, что указаны на рисунках. Ведь перед вами классический вариант автогенератора, собранного по схеме так называемой «емкостной трехточки». Транзистор VT1 включен как усилитель с общей базой — по высокой частоте конденсатор в цепи базы «закорачивает» ее на общий провод. Это позволяет такому каскаду работать вплоть до частот, близких к граничной частоте транзистора (у транзисторов из серии КТ368 граничная частота составляет не менее 900 МГц). Обратная связь осуществляется конденсатором, установленным между коллектором и эмиттером.

Несколько слов о настройке. Рабочая частота передатчика зависит от параметров контура в цепи коллектора VT1. Она настраивается подстроечным конденсатором на свободный от радиовещательных станций участок УКВ ЧМ диапазона (88...108 МГц). ■

Радиомикрофоны повышенной чувствительности

Здесь будут описаны два варианта радиомикрофонов, обладающих повышенной звуковой чувствительностью, но отличающихся дальностью действия. Они могут использоваться, например, для дистанционного прослушивания комнаты. Это возможно благодаря тому, что сигнал с микрофона усиливается дополнительным каскадом на транзисторе. Частотная модуляция получается, как и в предыдущей схеме, за счет изменения внутренней емкости транзистора при изменении его режима.

Схемы, приведенные на рис. 12.19 и 12.20, очень похожи и отличаются только наличием одного дополнительного каскада ВЧ усилителя мощности. Это позволяет для их сборки воспользоваться одной и той же печатной платой, показанной на рис. 12.21 (если вас устроит дальность связи, оконечный каскад усилителя мощности можно не устанавливать).

Потребляемый ток схемой составляет не более 2,4 мА — без оконечного усилителя, и 14 мА — при установке оконечного каскада, как это показано на рис. 12.20.

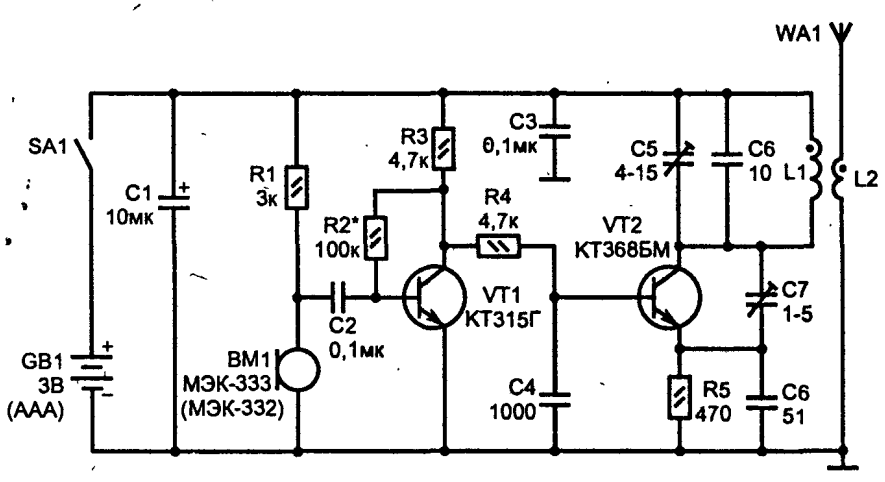


Рис. 12.19. Радиомикрофон с повышенной чувствительностью

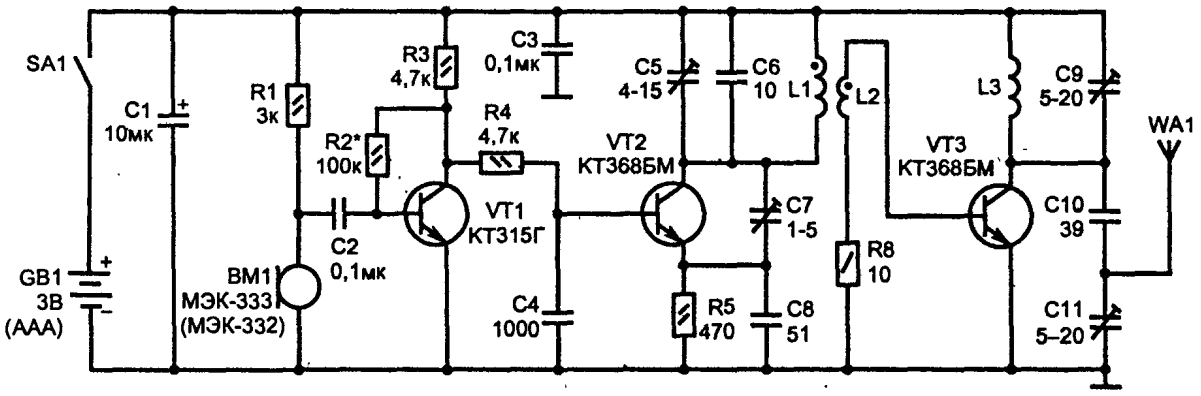


Рис. 12.20. Радиомикрофон с увеличенной дальностью действия

Настройка схем начинается с микрофонного усилителя. Измеряем напряжение на коллекторе VT1 — оно должно быть не меньше 1...1,1 В (тогда транзистор будет работать на линейном участке характеристики — режим А). Если это не так, то подбираем резистор R2. Транзистор КТ315Г можно заменить на КТ3102(Е—В), но тогда номинал резистора R2 придется увеличить до 1 МОм.

Следующим шагом является проверка работы генератора.

В схеме, приведенной на рис. 12.19, последним шагом настройки является контроль качества приема сигнала УКВ-приемником и при необходимости подстройкой конденсатором (С7) обратной связи.

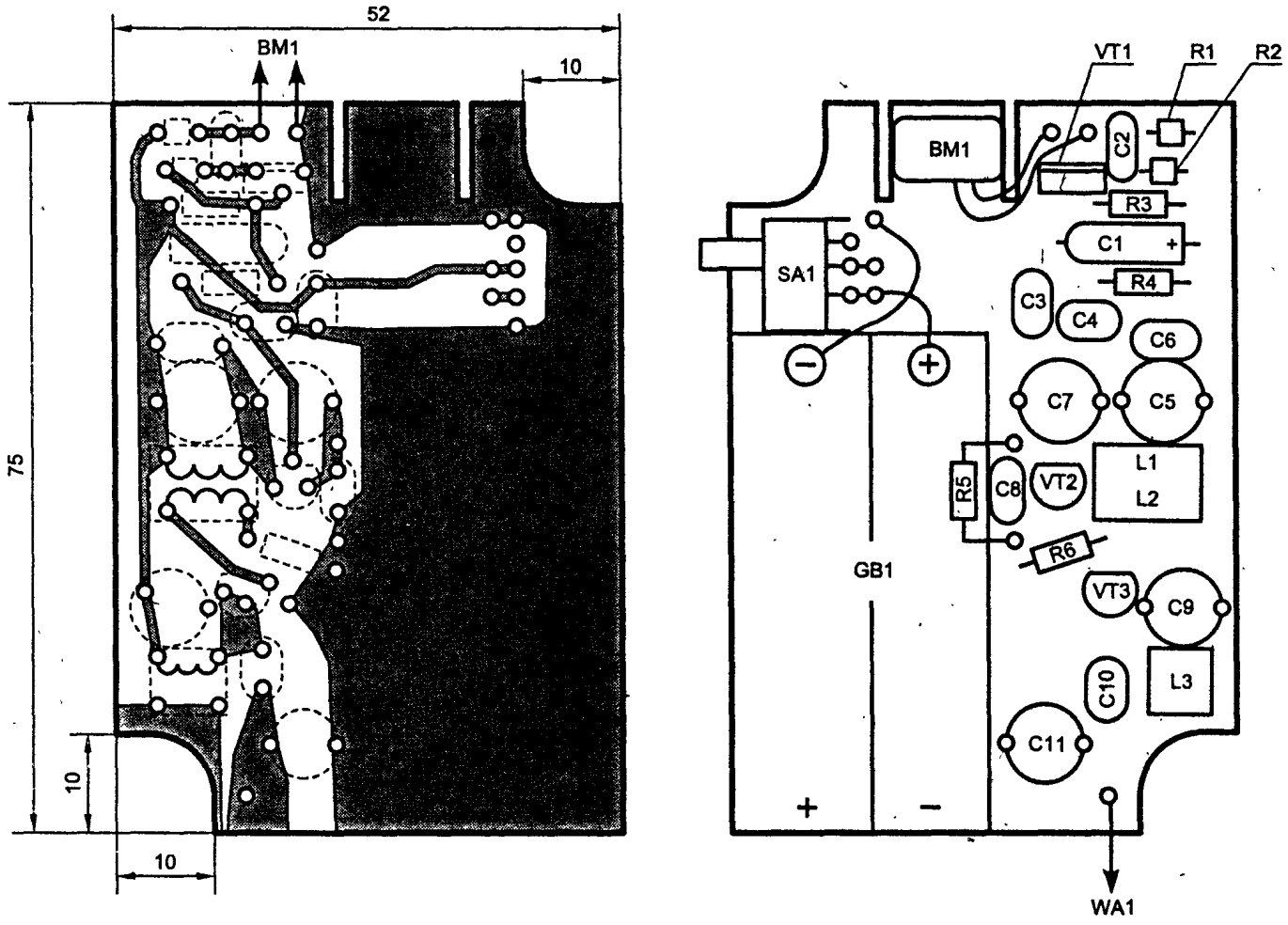


Рис. 12.21. Топология печатной платы и вид монтажа элементов

Для размещения устройства была найдена пластмассовая коробка, имеющая размеры 80 × 55 × 18 мм. Печатная плата разрабатывалась именно под этот корпус. Она предусматривает установку двух элементов питания типоразмера AAA (любого типа).

Для увеличения плотности монтажа резистор R5 располагается над конденсатором C8 (на двух уровнях).

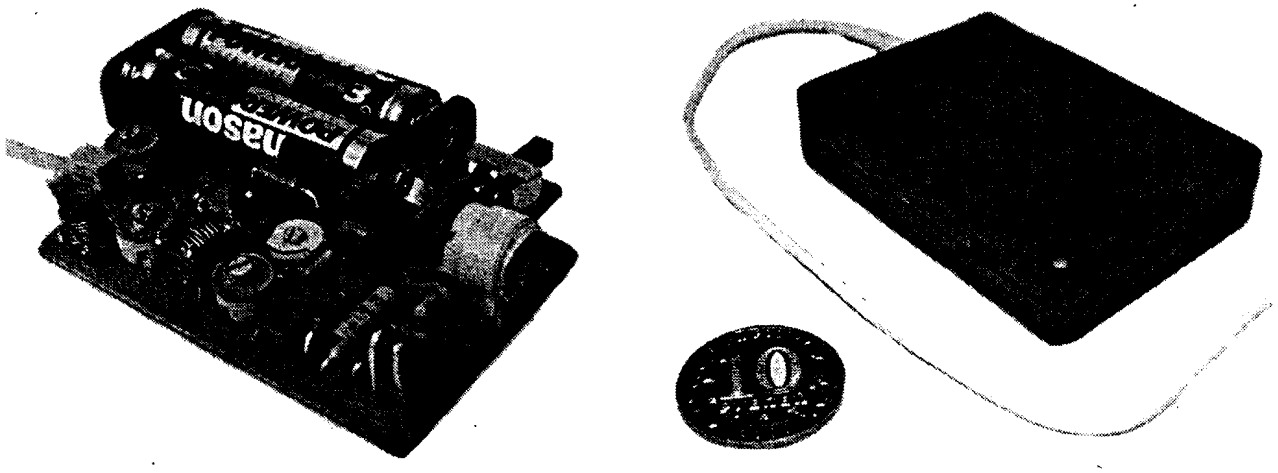


Рис. 12.22. Внешний вид сборки печатной платы и корпуса

Предварительная настройка ВЧ генератора выполняется по индикатору поля. В качестве индикатора поля можно (и нужно) использовать приспособление, описанное раньше (см. рис. 12.12). Катушку датчика поля кладем рядом с проводом антенны и по индикатору (стрелочному микроамперметру 0...100 мкА), при помощи конденсатора в контуре добиваемся максимума показаний.

Если вас заинтересовало изготовление радиомикрофонов, можно познакомиться еще с книгами [3, 4], где приведено довольно много аналогичных схем. ■

Бесконтактный ключ

Такое устройство может использоваться для отключения сигнализации, открывания замка с электромагнитом, в электронных игрушках или для демонстрации фокусов, когда при вашем приближении что-то включается или наоборот — выключается.

Устройство состоит из миниатюрного передатчика (рис. 12.23) и простейшего детекторного радиоприемника (рис. 12.24). Дальность действия системы зависит от того, используется ли резонансный контур на входе приемника (L1–C1–C2), и наличия дополнительной антенны (WA1). Так, без конденсаторов C1–C2 она составляет:

- без антенны в приемнике — 0,3 м;
- с антенной в приемнике (провод длиной 0,6 м) — до 1,3 м.

С конденсаторами C1–C2 при настройке входного контура приемника на частоту передатчика:

- без антенны в приемнике — до 1,5 м;
- с антенной в приемнике (провод длиной 0,6 м) — более 1,5 м.

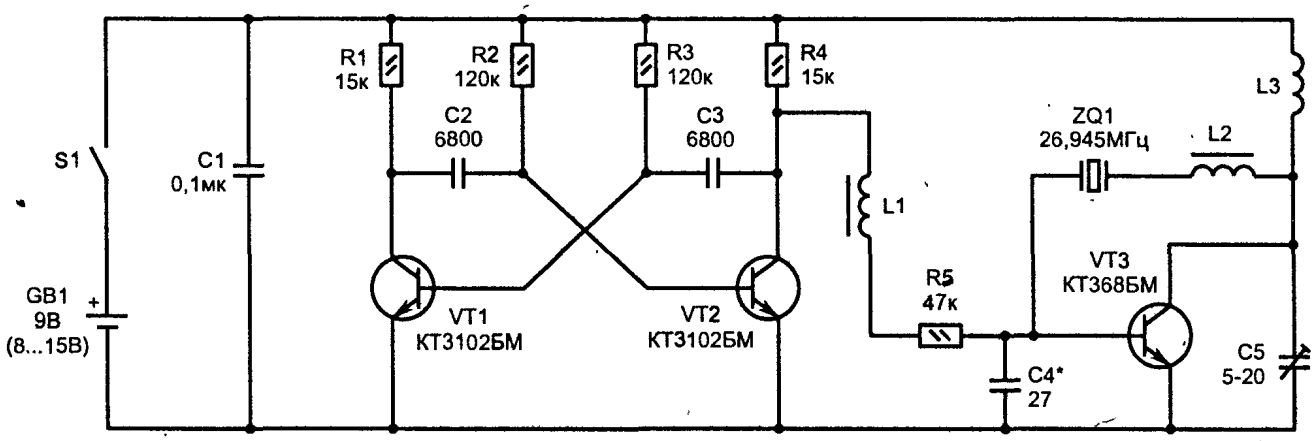


Рис. 12.23. Схема радиопередатчика

Передатчик состоит из ВЧ автогенератора на транзисторе VT3, частота которого стабилизирована кварцем, и генератора низкочастотных импульсов с частотой 850 Гц на VT1, VT2 — такая схема называется мультивибратором. Низкочастотный сигнал осуществляет амплитудную модуляцию ВЧ-генератора, за счет изменения тока базы VT3.

Кварцевый резонатор (ZQ1 из серии РК-169), кроме указанной на схеме частоты, может быть использован на любом канале радиолюбительского КВ диапазона (26,945—27,655 МГц). Катушка L1 улучшает стабильность работы ВЧ-генератора, L2 — препятствует возбуждению генератора на высших гармониках кварца, ну а L3 — излучает электромагнитное поле.

Схема передатчика может работать при напряжении от 6 до 15 В, но удобнее его питать от 9 В («Крона»), при этом потребляемый ток не превышает 4 мА.

В приемнике (рис. 12.24) входной резонансный контур L1—C1—C2 подстроечным конденсатором C2 настраивается на частоту передатчика. Полевой транзистор VT1 является активным детектором, т. е. он не только детектирует (выделяет огибающую модуляцию), как это делает обычный детекторный диод, но и в несколько раз усиливает НЧ-сигнал. К тому же, благодаря большому входному сопротивлению, этот транзистор позволяет подключить избирательный контур приемника прямо к затвору, не ухудшая при этом добротность входного контура. Далее импульсы через конденсатор C5 поступают на двухка-

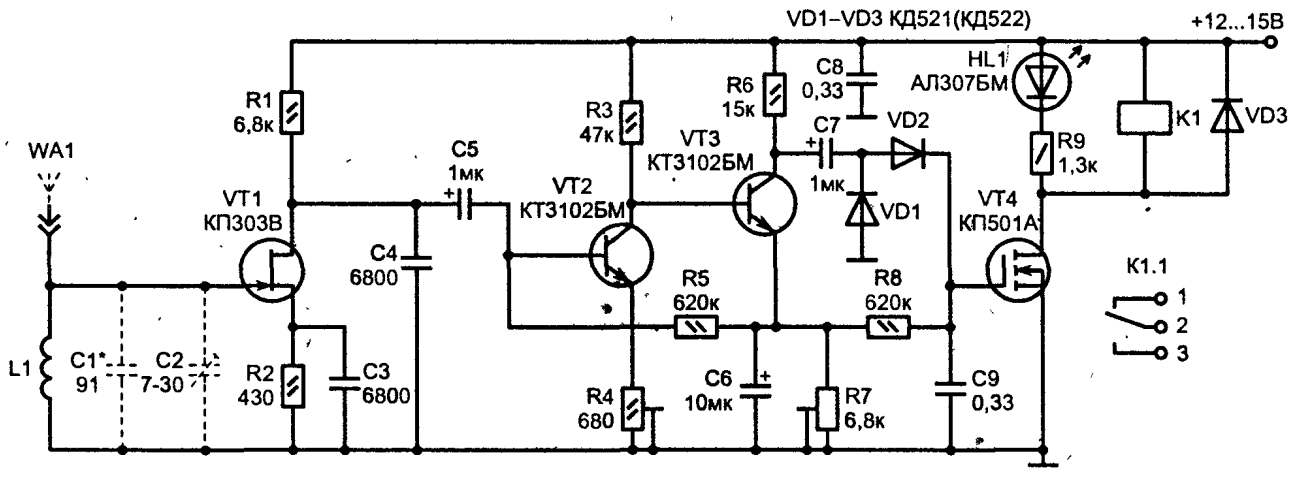


Рис. 12.24. Схема радиоприемной части

скадный усилитель (VT2, VT3), после которого стоит выпрямитель с умножением на 2 (элементы C7–VD2–VD3–C8). Это напряжение и управляет коммутатором на транзисторе VT4. Ну, а так как у транзисторов КП501 может быть разброс порога переключения от 2 до 4 В, то на его затвор подается начальное смещение через резистор R8. Регулировкой R7 выставляем такое напряжение, чтобы в отсутствие НЧ-сигнала транзистор VT4 был закрыт. Светодиод HL1 позволяет контролировать состояние выхода при настройке (его можно не устанавливать).

Для включения нужной нагрузки использовано электромагнитное реле K1 из серии РЭС55А (паспорт РС4.569.602 или РС4.569.607), но при небольшом изменении топологии платы можно установить и многие другие на рабочее напряжение 12 В.

Топология печатной платы передатчика приведена на рис. 12.25. При сборке были использованы следующие радиодетали: резисторы С2-23, подстроечный конденсатор (С5) типа КТ4, все остальные конденсаторы типа К10-17 или аналогичные. Катушка L1 намотана проводом ПЭЛШО диаметром 0,25 мм на

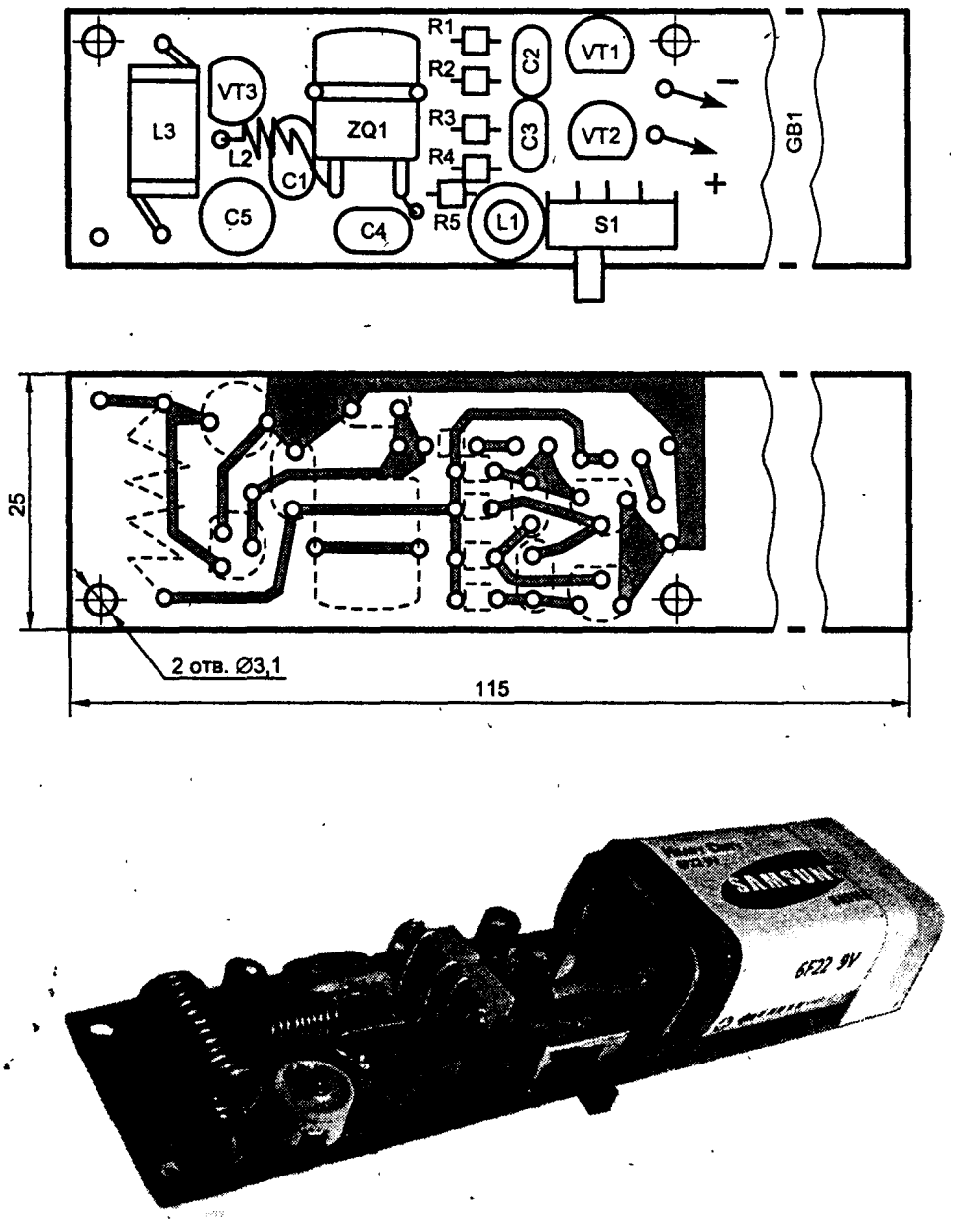


Рис. 12.25. Топология печатной платы, расположение элементов и вид монтажа передатчика

ферритовом (с магнитной проницаемостью 100НН) кольце К7,5×4×2 (в таком обозначении первым указывается внешний диаметр кольца; вторая цифра — внутренний диаметр, а последняя — его толщина) — 20 витков; L2 — содержит 10 витков (провода ПЭВ диаметром 0,51 мм) на ферритовом подстроечном сердечнике диаметром 4 мм (к нему она фиксируется клеем); L3 — бескаркасная, содержит 12 витков провода ПЭВ диаметром 0,9...1,0 мм (для намотки временно использован пластмассовый стержень от гелиевой авторучки с диаметром 5 мм). Транзисторы схемы, скорее всего, могут иметь любую последнюю букву в обозначении серии.

Топология печатной платы для сборки приемной части приведена на рис. 12.26. Были использованы детали: постоянные резисторы типа С2-23, подстроечные (R4 и R7) — СП3-19а(б); конденсатор С2 типа КТ4, остальные К10-17 и К10-23.

Теперь несколько слов о настройке. Начинать ее лучше с передатчика. При правильном монтаже настройка требуется только для ВЧ-генератора. Это выполняется подстроечными конденсаторами С4, С5 по максимальному уровню показаний индикатора поля, а в дальнейшем — по максимальному уровню НЧ

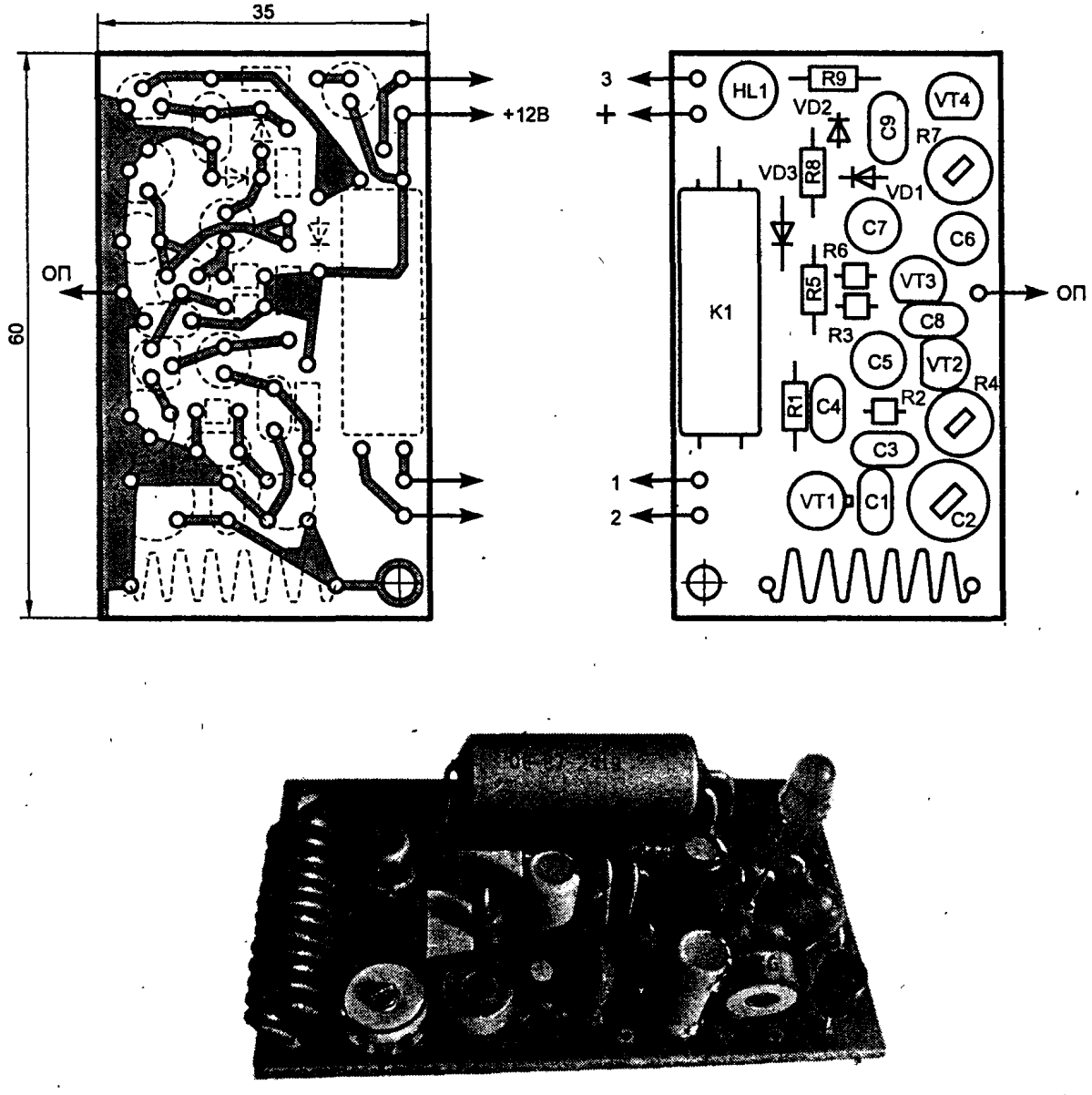


Рис. 12.26. Топология печатной платы, расположение элементов и вид монтажа приемника

сигнала в приемнике (на коллекторе VT3). Приемник проще сначала настраивать без конденсаторов C1, C2, контролируя уровень переменного сигнала на выходе VT3 вольтметром или осциллографом (осциллографом делать это, конечно, удобнее) при включенном вблизи передатчике. Грубая настройка выполняется резистором R7 так, чтобы подаваемого с резистора R7 напряжения на затвор VT4 было еще недостаточно для его открывания (при отключенном передатчике), а при наличии сигнала (когда передатчик включен) этот транзистор должен полностью открываться. Более точная настройка выполняется резистором R4 так, чтобы каскад обеспечивал нужное усиление и при этом не возбуждался. После настройки низкочастотного усилителя можно устанавливать конденсаторы C1 и C2 и добиваться максимальной дальности срабатывания от включенного передатчика (электронного ключа). ■

Радиопередатчики повышенной мощности

Человек может все, но кто ему это позволит?
Борис Крутиер

У передатчиков мощностью больше чем 0,1 Вт чаще всего бывает три практических применения: радиосвязь между людьми, охранная сигнализация и дистанционное управление. Для устройств разного назначения Государственным комитетом по радиочастотам выделены свои диапазоны частот [5], а в них конкретные каналы, за эксплуатацию которых собираются деньги (во всяком случае, пытаются это делать в крупных городах). Там же существуют специальные службы, следящие за чистотой эфира. Поэтому к настройке таких устройств следует подходить очень аккуратно. Ведь если ваш радиопередатчик будет мешать своими помехами служебной связи, домой к вам могут приехать грубые дяди, которые в этом случае, кроме самого передатчика, имеют право изъять все, что содержит радиодетали... Поэтому в своем творчестве лучше не вылезать за границы выделенных радиолюбителям частот. Они есть практически во всех частотных диапазонах, например:

1830...1930 кГц	(длина волны 160 м)
.....	
14000...14350 кГц	(длина волны 20 м)
28000...29700 кГц	(длина волны 10 м)
144...146 МГц	(длина волны 2 м)
430...440 МГц	(длина волны 0,7 м)
1260...1300 МГц	(длина волны 0,23 м)
.....	

Этот список можно продолжить и дальше, но применять частоты меньше 26 МГц в малогабаритных устройствах неудобно — для эффективной работы передатчику требуется антенна, соизмеримая с длиной волны. Частоты выше 440 МГц тоже неудобны, но по другой причине — труднодоступная и дорогая элементная база, так как большинство компонентов для СВЧ устройств содержат такие металлы, как золото, платина и т. п.

Чтобы обеспечить у мощного передатчика высокую стабильность несущей частоты в широком температурном диапазоне (−40...+60 °С), необходимо использовать кварцевую стабилизацию. А для уменьшения размеров конструкции в современных системах широко используют специальные микросхемы, но для самых простейших применений мы пока сможем обойтись и без них (о микросхемах более подробно будет говориться позже). ■

Для дистанционного управления

Довольно простая схема передатчика приведена на рис. 12.27. Полная схема состоит из двух частей. На рис. 12.28 показана низкочастотная часть, обеспечивающая АМ модуляцию. Такой передатчик можно использовать для дистанционного включения устройств (управления игрушкой, радиовызова при нажатии кнопки или в составе охранной сигнализации). Выходная мощность в импульсе около 2 Вт, потребляемый ток до 0,35 А.

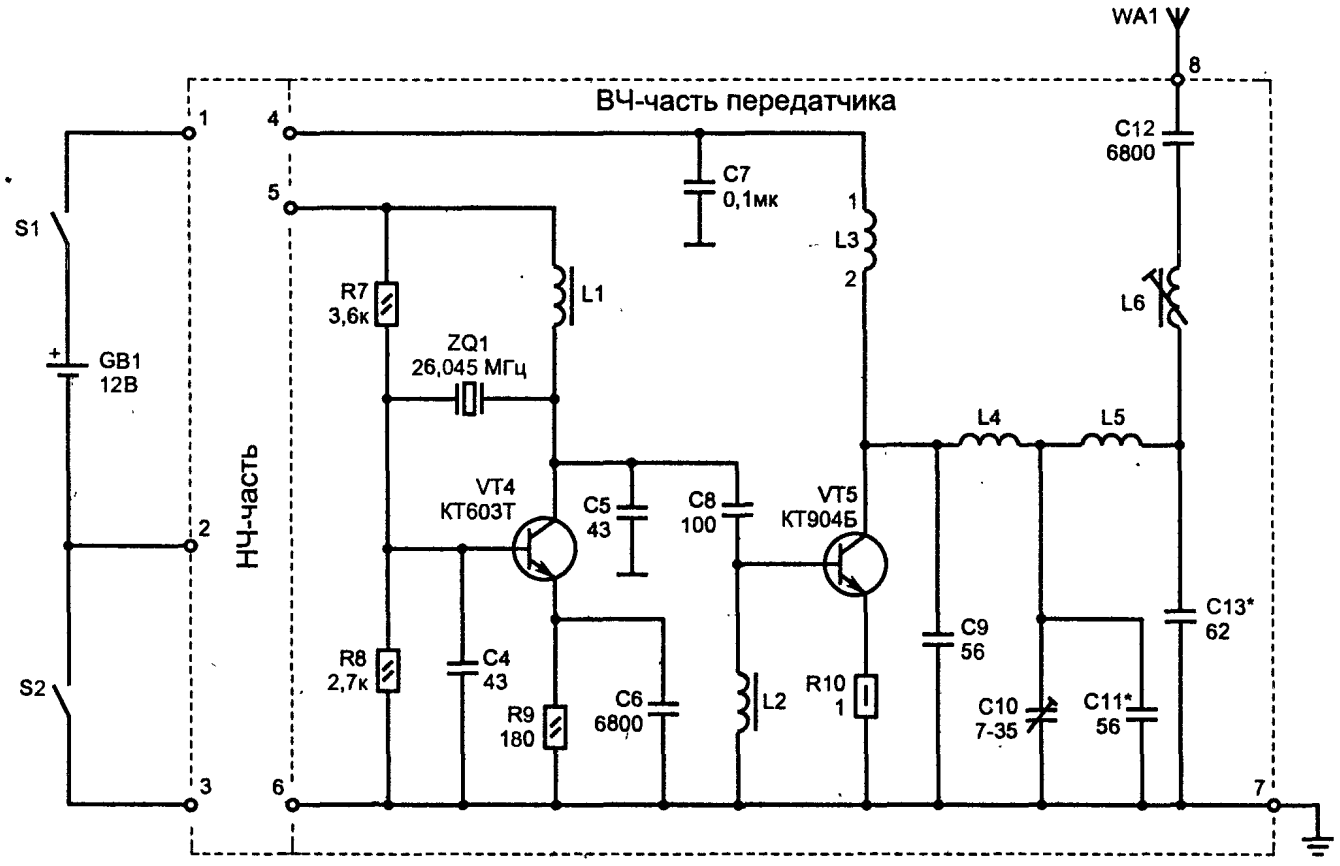


Рис. 12.27. Схема высокочастотной части радиопередатчика

На транзисторах VT1, VT2 собран генератор прямоугольных импульсов (мультивибратор) с частотой 1000 Гц (резистор R3 позволяет ее перестраивать от 550 до 1000 Гц). Чтобы генератор начал работать, необходимо замкнуть контакты датчика S2. Свечение светодиода HL1 является индикатором работы всей схемы. Предохранитель FU1 и диод VD1 нужны для защиты соединительных проводов и самой схемы в случае ошибочной полярности подачи питающего напряжения, например от аккумулятора автомобиля (если источник питания не настолько мощный или ошибка в подаче питания исключена, то эти элементы можно исключить).

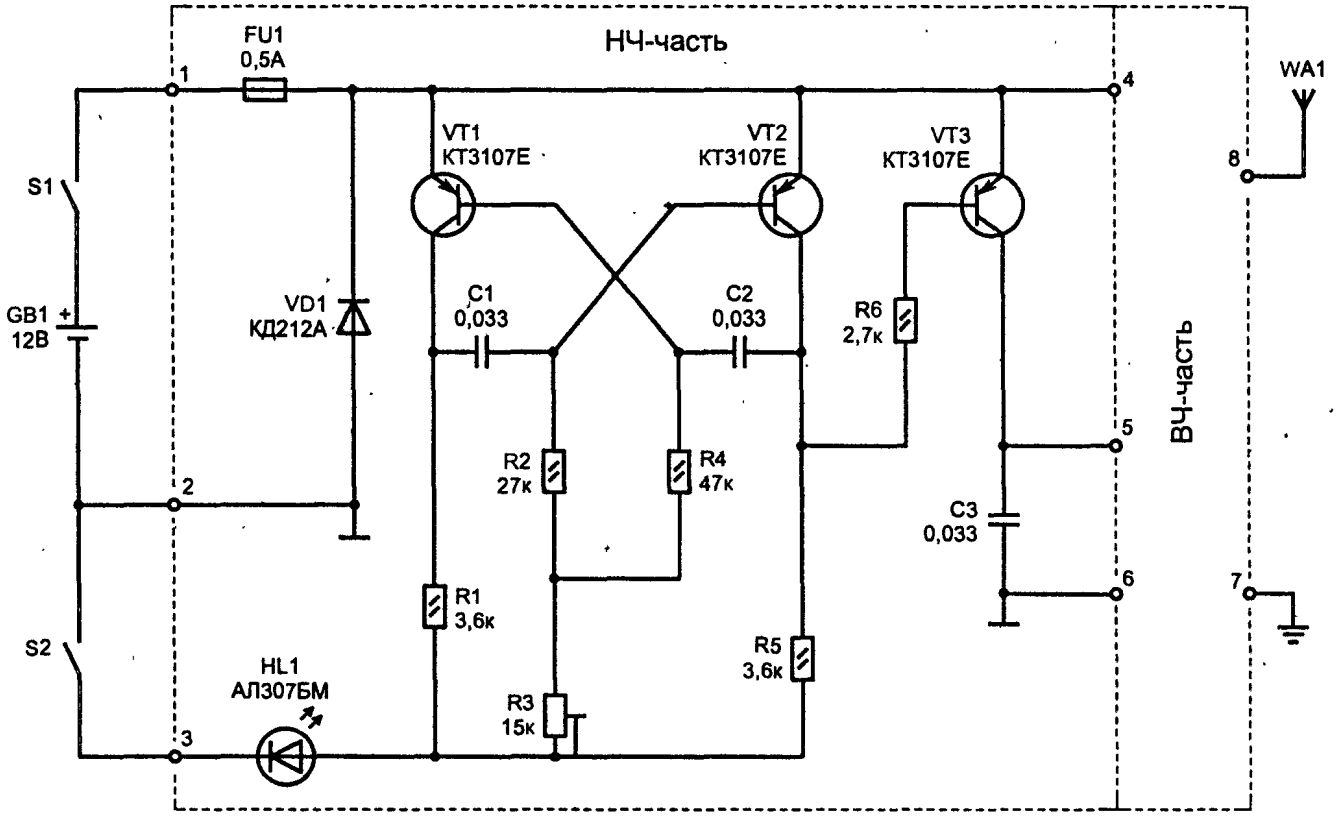


Рис. 12.28. Схема низкочастотной части радиопередатчика

Импульсы с мультивибратора управляют электронным ключом на транзисторе VT3, который передает их дальше — на задающий кварцевый генератор (VT4). В высокочастотной части передатчика всего два каскада. Модулированный сигнал с автогенератора поступает сразу на оконечный усилитель (VT5) и через фильтр (на элементах С9—С11, С13 и L4—L6) в антенну WA1.

Из-за того, что в схеме использованы катушки L1 и L2 в качестве дросселей, настройка заключается только в подборе конденсаторов фильтра, отмеченных звездочками (грубо — С11 и С13; плавно — С10). Сначала это делают на эквиваленте антенны (см. рис. 12.10 — только нагрузочные резисторы подключаются без кабеля непосредственно вместо антенны), контролируя форму напряжения и его амплитуду на выходе детектора, а окончательная настройка проводится уже на подключенной антенне.

Антенной может служить гибкий многожильный провод длиной примерно 1,2...1,5 м или телескопический штырь от приемника. Если есть возможность, то лучше подключить заземление (например, корпус автомобиля) — это увеличит дальность работы.

При изготовлении передатчика применялись следующие радиодетали: подстроечный резистор R3 типа СП3-19а, остальные С2-23 или МЛТ; подстроечный конденсатор С10 — КТ4-23; С1—С3, С7 типа КМ-4; остальные конденсаторы К10-17 или К10-23. Транзисторы VT1—VT3 могут иметь любую последнюю букву в обозначении серии; VT5 заменяется на 2Т904Б.

Все катушки выполнены проводами ПЭЛ-2, ПЭТВ-2 — их намоточные данные приведены в табл. 12.1. Дроссели L1, L2 на ферритовом кольце К7,5×4×2 (с магнитной проницаемостью 100НН), их индуктивность 10...20 мкГн. Ка-

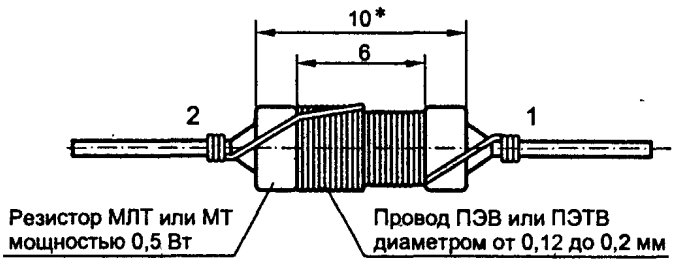


Рис. 12.29. Конструкция дросселя L3

тушка L3 — тоже дроссель на оправке, в качестве которой можно взять корпус любого резистора мощностью 0,5 Вт с сопротивлением более 1 кОм (рис. 12.29). Катушки L4, L5 и L6 выполнены на пластмассовых каркасах диаметром 6...7 мм. В катушке L6 должна быть резьба для вкручивания ферритового сердечника. На всех катушках после намотки витки фиксируются клеем БФ-2.

Таблица 12.1. Намоточные данные катушек передатчика

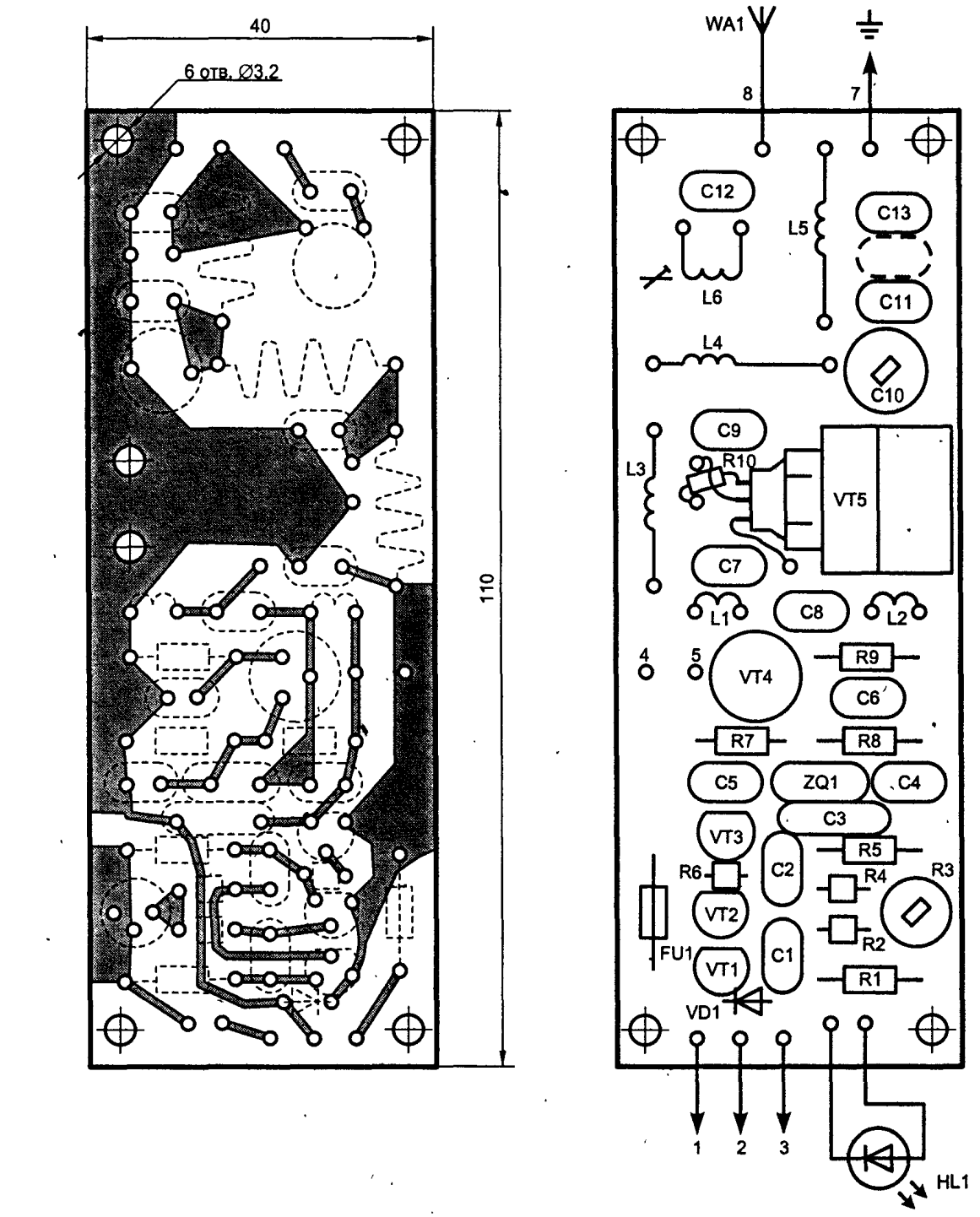
Катушка	Диаметр провода, мм	Число витков
L1, L2	0,5	7...8
L3	0,12...0,2	50
L4	0,5	15
L5	0,5	20
L6	0,5	15

Для монтажа схемы можно воспользоваться печатной платой, приведенной на рис. 12.30. Выходной транзистор крепится на уголке, который улучшает теплоотвод. Резистор R10 припаивается непосредственно к эмиттерному выводу транзистора. Лучше, если корпус для размещения платы был полностью металлическим или хотя бы имел экран из медной фольги.

Теперь о приемнике. Его схема показана на рис. 12.31. Первый каскад (VT1) — это типичный сверхрегенератор. О его работе, достоинствах и недостатках вы уже знаете из раздела «Какие бывают радиоприемники». В качестве антенны может применяться любой провод длиной 50...60 см. Транзистор VT1 обеспечивает усиление принятого антенной ВЧ-сигнала и его детектирование. Настройка приемника на частоту передатчика осуществляется при помощи конденсатора C5. На транзисторах VT2, VT3 собран усилитель звукового диапазона, с выхода которого сигнал подается на выпрямитель VD1 и транзисторный ключ на полевом транзисторе VT4. Нагрузкой этого транзистора может быть не только звуковой излучатель или светодиод, но и реле.

Так как у полевого коммутатора обычно пороговое напряжение открывания около 2 В, резистор R7 позволяет установить его на затворе VT4 таким, чтобы при отсутствии НЧ-импульсов (отключенном передатчике) этот транзистор был еще закрыт.

При изготовлении приемника применялись следующие радиодетали: подстроечные резисторы R2 и R7 типа СП3-19а(б); постоянные резисторы С2-23 или МЛТ; подстроечный конденсатор С5 — КТ4-23; С1, С6, С8, С10 типа КМ-4 или К10-7; полярные электролитические конденсаторы любого типа;



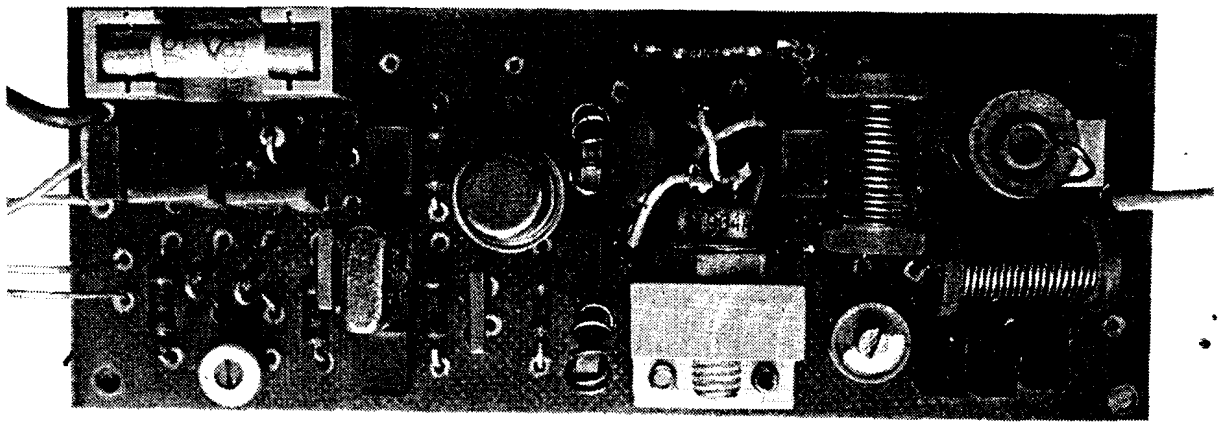


Рис. 12.30. Топология печатной платы, расположение элементов и вид монтажа передатчика

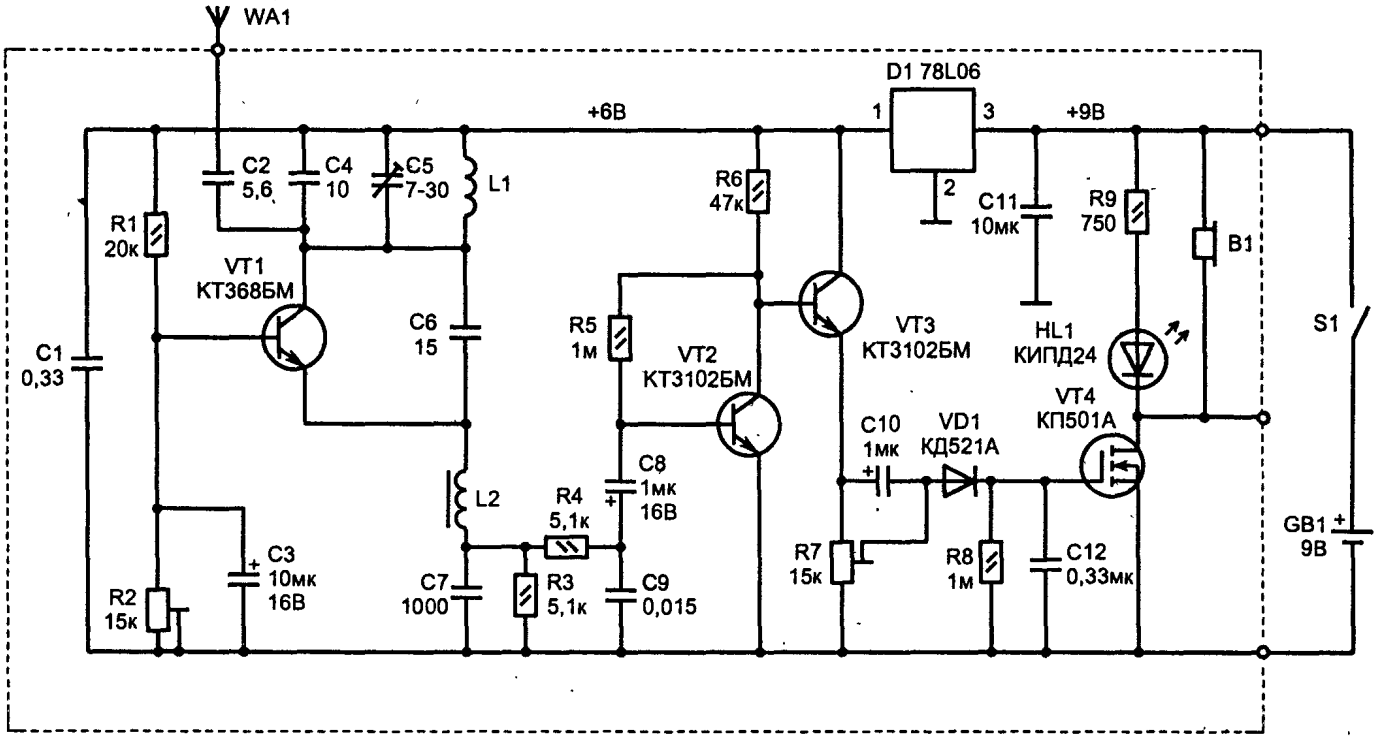


Рис. 12.31. Вариант схемы радиоприемника

остальные конденсаторы К10-17 или К10-23. Транзисторы VT1—VT4 могут иметь любую последнюю букву в обозначении серии.

Катушка L1 выполнена проводом ПЭЛ-2 (ПЭТВ-2) диаметром 0,5 мм — на пластмассовом каркасе диаметром 7,5...8 мм — 14 витков. Катушка L2 является дросселем и наматывается проводом ПЭЛШО диаметром 0,12 мм — 30 витков на ферритовом кольце К7,5×4×2 (с магнитной проницаемостью 100НН), можно также использовать любой малогабаритный стандартный дроссель индуктивностью 50...150 мкГн.

Для монтажа схемы можно воспользоваться печатной платой, показанной на рис. 12.32.

На основе этого приемника можно сделать и многоканальную систему дистанционного управления, если на выходе НЧ-усилителя установить частотно-избирательные элементы (фильтры), а передатчик модулировать разной частотой (в соответствии с нужной командой). ■

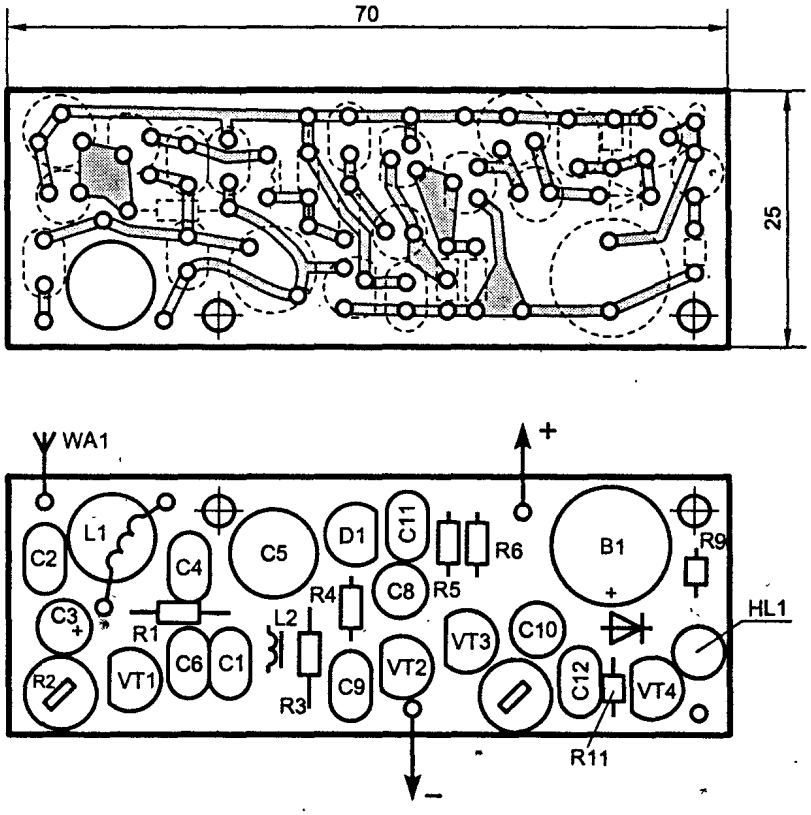


Рис. 12.32. Топология печатной платы и расположение элементов приемника

Передатчик для радиосторожа

В условиях города срабатывание звуковой сирены многих раздражает, особенно если это происходит ночью. Ночная сирена вряд ли привлечет внимание окружающих с целью поимки воров. За рубежом уже давно практикуются штрафы за ночной шум, которые могут доходить до $2000. Другой альтернативы, кроме как подключать охрану к системе оповещения по радиоканалу, скоро не будет и у нас в стране.

Для работы охранных устройств с оповещением по радиоканалу в КВ диапазоне предназначена фиксированная частота 26,945 МГц, на которую и следует приобрести кварцевый резонатор (ZQ1).

На рис. 12.33 приведена высокочастотная часть передатчика, предназначенного для создания радиоканала при охране автомобиля, гаража или другого удаленного на расстояние до 500...1000 метров объекта.

Сам передатчик содержит три каскада. На первый каскад — задающий генератор с кварцевой стабилизацией частоты на транзисторе VT1, постоянное питание подается от блока формирования временных интервалов (обычно выполняемого на цифровых микросхемах) только при срабатывании охранных датчиков. Высокочастотный сигнал с автогенератора через промежуточный усилитель на VT2 (буферный усилитель) поступает на оконечный усилитель мощности VT4.

У промежуточного усилителя коллекторный контур настраивается с помощью сердечника катушки L2 на первую гармонику задающего генератора. Катушка L2 имеет неполное включение, что увеличивает добротность контура. Усилитель на VT2 позволяет уменьшить влияние изменения режима оконечного каскада на работу задающего автогенератора, а также обеспечивает достаточный уровень сигнала для работы усилителя мощности. Это позволяет получить на выходе импульсную ВЧ мощность, подводимую к антенне около 2 Вт (100% модуляция).

Импульсная модуляция ВЧ-сигнала осуществляется в каскаде промежуточного усиления при помощи транзистора VT3. Конденсаторы C5 и C6 обеспечивают заваливание фронтов выходного сигнала, рис. 12.34. Это необходимо, чтобы ограничить спектр на выходе передатчика, ведь отведенная полоса канала всего 10 кГц.

Оконечный усилитель работает в режиме класса С — он самый экономичный, что позволяет выходному транзистору быть постоянно подключенным к питанию. Ведь когда на его вход не приходят ВЧ-импульсы — тока в цепи не будет. А для согласования каскада усилителя с низким входным импедансом (сопротивлением) антенны и уменьшения уровня высших гармоник в сигнале применен двухзвенный П-фильтр из элементов C12–L4–C14–L5–C16. Для точной настройки выходного фильтра предусмотрены элементы настройки: C13, C15 и подстроечный сердечник в катушке L4.

Выход передатчика соединяется с антенной высокочастотным кабелем с 50-омным волновым сопротивлением через разъем XW1. Вблизи от антенны расположено согласующее устройство, состоящее из катушки L6 (в экране). Длина соединительного кабеля от согласующего устройства до основного блока составляет 1,64 м, или кратна этому значению (3,28 м).

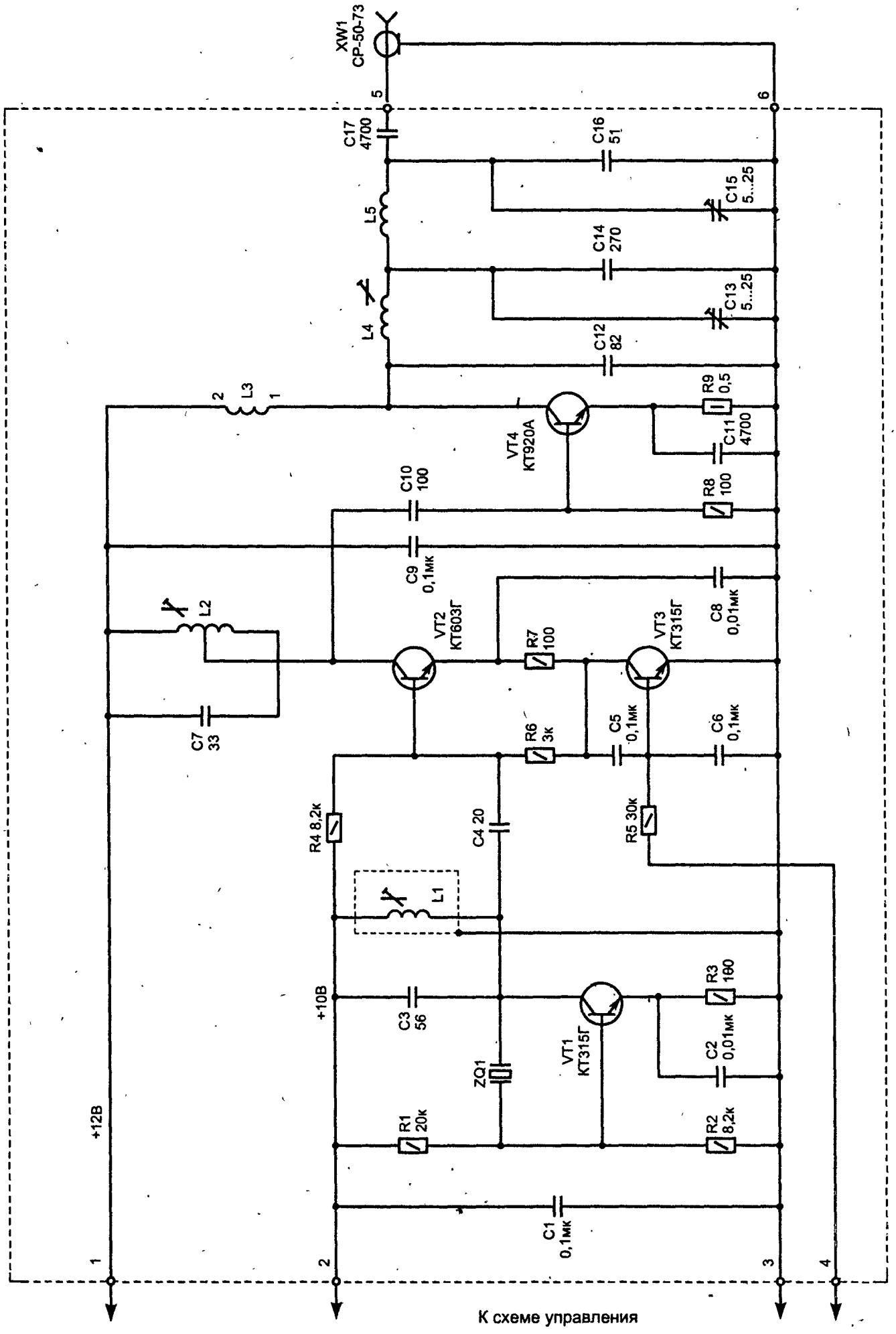


Рис. 12.33. Электрическая схема высокочастотной части передатчика

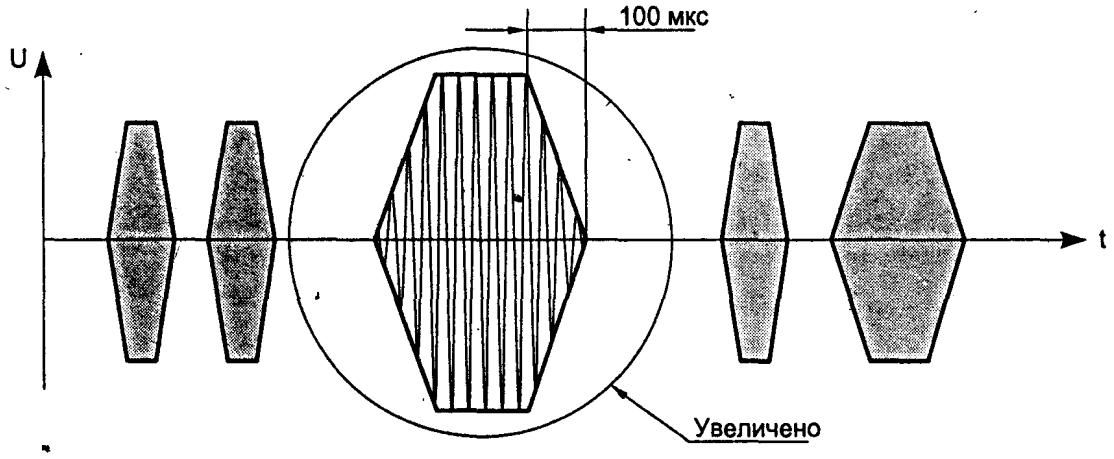


Рис. 12.34. Форма выходного сигнала передатчика

Все остальные элементы высокочастотной части схемы располагаются на печатной плате из одностороннего стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм с размерами 115 × 35 мм, рис. 12.35. Она помещается в экранированном отсеке корпуса блока охраны.

В схеме применены детали: резисторы типа С2-23, постоянные конденсаторы К10-17, при этом С3—С7, С12, С14 и С16 выбираются с минимальным ТКЕ (М75, М47, М33), подстроечные С13 и С15 типа КТ4-23б или КТ4-21б. Использован кварцевый резонатор РК169МВ-14ЕП-26945К-В. Транзистор VT4 можно заменить на КТ925Б.

Катушки выполняются на диэлектрических каркасах диаметром 5 мм проводом ПЭЛ-2 или ПЭТВ-2 — их намоточные данные приведены в табл. 12.2. Каркасы имеют внутреннюю резьбу М4 для ферритовых сердечников. Подстроечные сердечники могут быть из любого высокочастотного феррита. А для того, чтобы сердечники катушек от вибрации при эксплуатации не смещались, их до вкручивания в каркас катушки (при настройке) смазываем несохнущим вязким герметиком.

Намотка выполняется виток к витку, после чего у всех катушек провод фиксируется клеем «Момент», БФ-4 или БФ-2. Катушка L4 должна иметь конструкцию, которая обеспечивает ее горизонтальное расположение на плате (она аналогична показанной на рис. 12.18) — это снижает влияние полей близко расположенных катушек друг на друга. Конструкция дросселя L3 уже была показана на рис. 12.29.

На корпусе передатчика устанавливается высокочастотное гнездо XW1 (розетка приборная) типа СР-50-73Ф ГУ3.640.073Сп, а на кабеле от согласующего с антенной устройства — вилка кабельная СР-50-74Ф ГУ3.640.706Сп.

Антенна соединяется с согласующим устройством гибким многожильным проводом (длиной 100...200 мм), рис. 12.36. Соединение с блоком передатчика осуществляется высокочастотным кабелем РК50-2-16 или аналогичным.

Антенна передатчика может иметь два варианта исполнения. Оба обеспечивают ее скрытую установку внутри салона автомобиля (вблизи стекла). Это хотя и сильно снижает эффективность (КПД) антенны, но зато исключает повреждение радиоканала системы до срабатывания охраны.

Первый вариант выполняется из стальной проволоки длиной примерно 140...160 см и диаметром 1,5...2 мм, что позволяет ее расположить над стек-

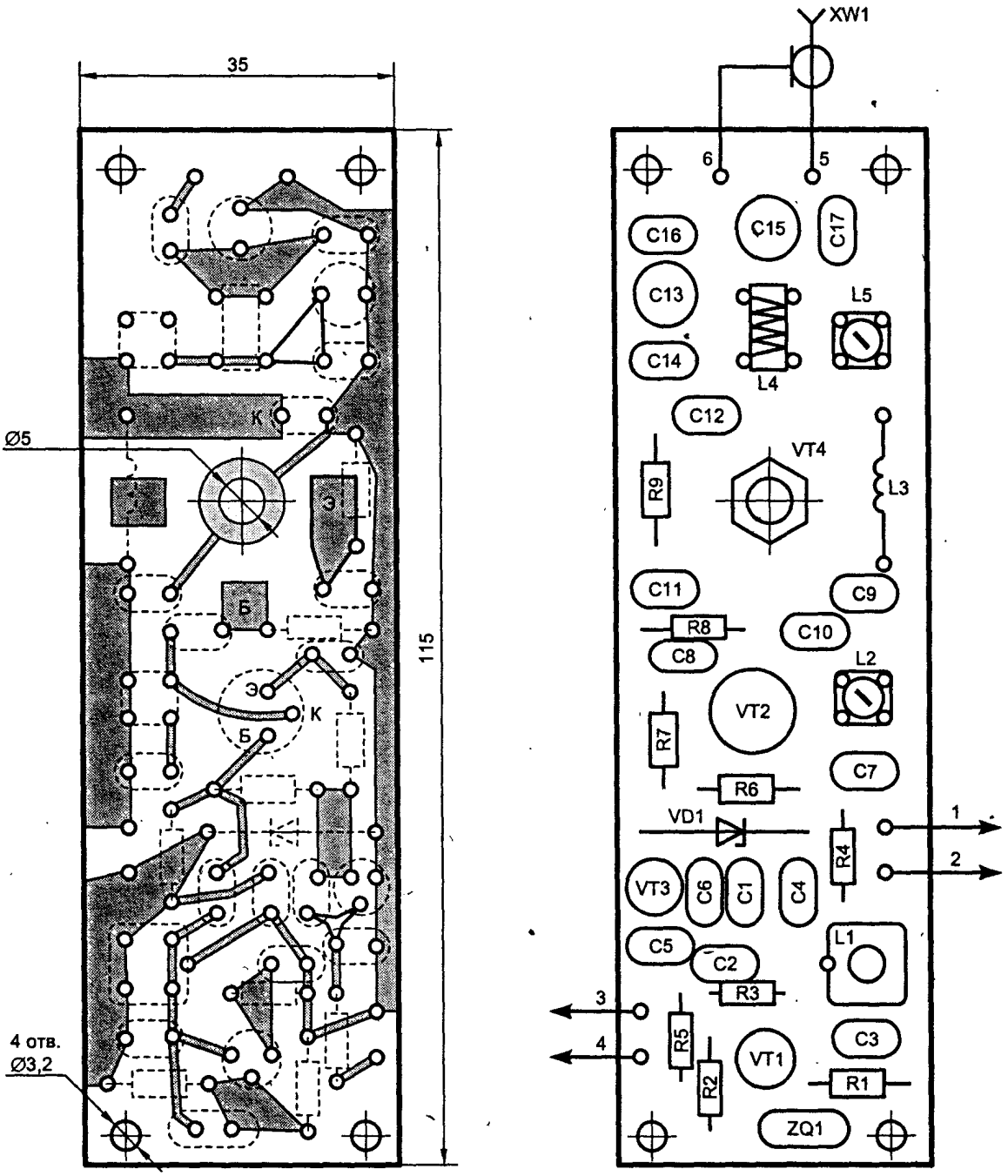


Рис. 12.35. Топология печатной платы и расположение элементов высокочастотиой части передатчика

Таблица 12.2. Намоточные данные катушек передатчика

Катушка	Диаметр провода, мм	Число витков
L1	0,23	14
L2	0,23	7+7
L3	0,12...0,2	50
L4	0,42	10
L5	0,42	10
L6	0,23	25

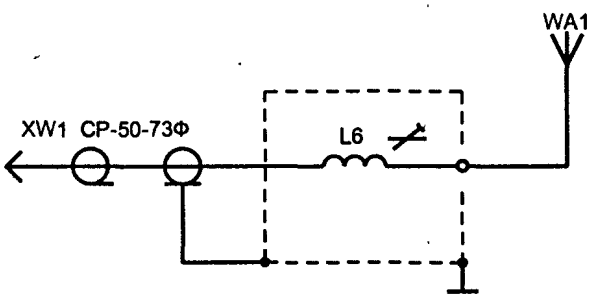


Рис. 12.36. Антеина с согласующим устройством

лом по дуге и закрепить концы стержня под уплотнительную резиновую прокладку стекла переднего или заднего вида. Она не мешает обзору водителя, а снаружи автомобиля при близком рассмотрении будет казаться, что стекло имеет в этом месте внутреннюю трещину.

Второй вариант может быть установлен только вблизи стекла заднего вида, а для изготовления антенны взят трехпроводный телефонный кабель, имеющий форму пружинящей спирали (ее удобно закрепить вблизи стекла по диагонали с помощью резиновых присосок). Такой провод используют в отечественных телефонных аппаратах для соединения разговорной трубки с аппаратом. Все провода спаиваются между собой и соединяются с согласующим устройством. Согласующее устройство с помощью лепестка экрана крепится к корпусу автомобиля под обшивкой в любом удобном месте.

Настройка передатчика, как всегда, начинается с задающего кварцевого автогенератора. Для этого между выводами 1 и 2 схемы временно устанавливается резистор номиналом 150 Ом, а также перемычка между выводами 1—4. Питание подается на выводы 1 (+12 В) и 3 (общий провод) при подключенном эквиваленте антенны. Далее, вращая подстроенные сердечники L1, L2 и L4, добиваемся на выходе (на эквивалентной нагрузке) максимальной амплитуды сигнала.

Для обеспечения надежной работы передатчика задающий автогенератор настраивается на точку максимальной устойчивости колебаний, как это было уже описано ранее. При этом необходимо помнить, что работа передатчика в режиме непрерывного сигнала (без модуляции несущей) допускается кратковременно (не более 1 мин), так как транзистор VT4 не имеет теплоотвода — при усилении импульсно-модулированного сигнала он и не нужен.

Низкочастотный вольтметр на нагрузке после детектора (гнездах X1—X2, рис. 12.10), будет измерять амплитуду напряжения U_m. Определив ее с помощью осциллографа или вольтметра, можно посчитать выходную мощность передатчика (Вт) по формуле:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(0{,}707 \cdot U_m)^2}{R},$$

где: U — действующее значение напряжения сигнала, В;

U_m — амплитуда сигнала на нагрузке, В;

R — сопротивление нагрузки, Ом.

Если измеренная мощность будет меньше чем 1,8 Вт (из-за низкого коэффициента усиления транзистора VT4), то вместо резистора обратной связи по постоянному току R9 можно установить перемычку. В схеме конденсаторы, отмеченные «*», могут потребовать подбора.

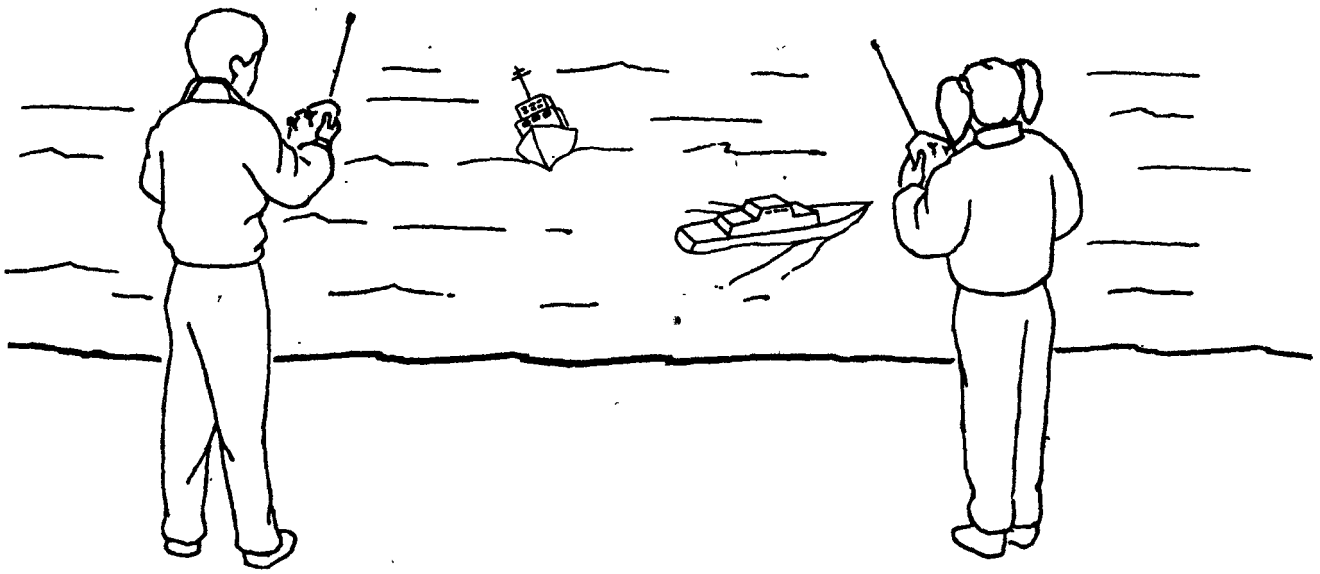
Рабочая частота передатчика не должна отклоняться от номинальной 26945 кГц более чем на 1,34 кГц (измеряем частотомером на эквиваленте на-

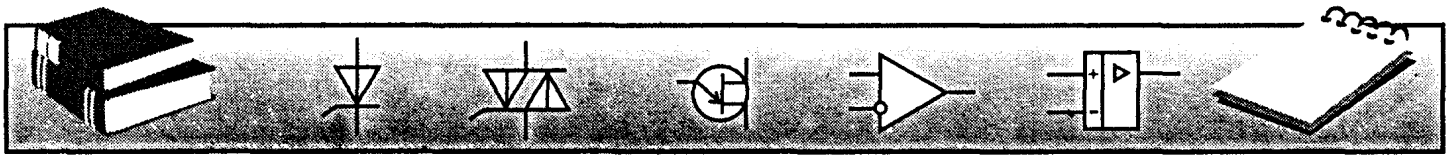
грузки в режиме кратковременной работы передатчика без модуляции). Окончательная настройка выполняется при подключенной цифровой схеме блока управления.

Приемник на фоне помех и других сигналов должен выделить «свой» и включить звуковое оповещение хозяина. Дальность устойчивого приема на открытой местности составляет не менее 1 км, но в условиях большого города из-за отражений и поглощения сигнала препятствиями, а также высокого уровня помех в эфире это расстояние может уменьшиться. Вариантов приемника может быть несколько, например те, что описаны в книге [6], а схема дешифратора связана с принципом формирования идентификационного кода. Но к его изготовлению следует приступать только после знакомства с цифровыми способами обработки информации и соответствующими микросхемами. К тому же такую схему довольно сложно качественно настроить без осциллографа. Ведь надо контролировать форму модулирующих импульсов. ■

Литература

1. *Белоусов О.* Кварцевые генераторы. — Минск: Радиолюбитель, 2000, №№ 6 и 7, стр. 29.
2. *Миль Г.* Электронное дистанционное управление моделями./Пер. с нем. В. А. Пальянова. — М.: ДОСААФ, 1980.
3. *Шустов М. А.* Практическая схемотехника. 450 полезных схем радиолюбителям. Книга 1. — М.: Альтекс-А, 2001.
4. *Андрианов В. И., Бородин В. А., Соколов А. В.* «Шпионские штучки» и устройства для защиты объектов и информации. Справочное пособие. — СПб: Лань, 1996 (книга переиздавалась несколько раз и в последующие годы).
5. Информация о распределении радиочастот http://www.grfc.ru/index.phtml
6. *Шелестов И. П.* Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 2. — М.: СОЛОН-Р, 2001.





Глава 13

Основы схемотехники, или Как придумать схему

Любой электронный элемент сам по себе — вещь довольно бессмысленная, поскольку в отдельности его вряд ли удастся использовать. Только соединение элементов в электрические схемы по определенным правилам позволяет строить работоспособные конструкции, добиваться от них желаемых результатов. Этой областью радиоэлектроники занимается отдельное техническое направление — **схемотехника**. Современная схемотехника накопила знания не только о том, как соединять отдельные (дискретные) элементы. Проделана большая работа, в результате которой появились элементы, включающие части готовых электрических схем, — **интегральные микросхемы**. В этой главе мы познакомимся с интересными схемотехническими идеями, реализованными на дискретных элементах и на микросхемах. ■

Зачем нужны тиристоры и симисторы

Достаточно, чтобы слова выражали смысл.

Конфуций

Эти полупроводниковые приборы появились уже после изобретения транзисторов и быстро нашли свое место в электронной силовой технике. Сегодня тиристорные регуляторы применяются для преобразования электрической энергии, для управления мощными электродвигателями, нагревателями и другими нагрузками в автоматических системах. Они позволяют коммутировать большие токи при минимальной мощности управления и очень стойки к перегрузкам. Так как нам с такими элементами не раз придется столкнуться на практике, давайте познакомимся с ними поближе.

Наиболее часто можно встретить четыре разновидности тиристоров: динисторы, симисторы, тринисторы (обычные и запираемые). Самый простой из них — двухэлектродный прибор: **динистор**. Его условное обозначение и устройство показаны на рис. 13.1.

Как видно из этого рисунка, динистор представляет собой 4-слойный полупроводник с чередующимися областями p- и n-типа. В отличие от биполярного транзистора, где имеется только два p-n-перехода, у тиристора их уже 3, из-за

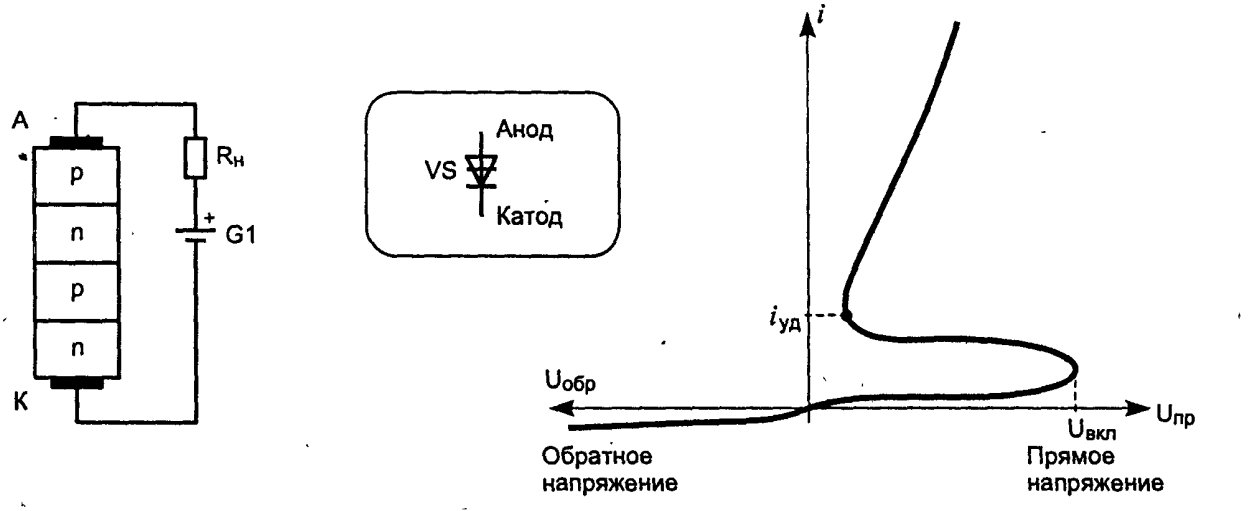


Рис. 13.1. Упрощенное внутреннее строение, условное обозначение на схеме и вольт-амперная характеристика динистора

чего появляются особые свойства. В обычном состоянии динистор ведет себя как обратносмещенный полупроводниковый диод, то есть диод, включенный в обратном направлении, — он не проводит ток. Кстати, отличие динистора от диода в этом состоянии все же есть: он не проводит ток в обе стороны. Но — до определенного предела. Если в схеме, показанной на рис. 13.1, повышать напряжение источника G1 до значения, равного **напряжению включения** ($U_{вкл}$), динистор откроется, и его сопротивление скачком станет маленьким. Но самое интересное заключается как раз в другом: при открывании через динистор потечет ток, и напряжение на нем (в открытом состоянии) установится на уровне 1,4 В. Чтобы закрыть динистор, требуется снизить ток до уровня **тока удержания** ($I_{уд}$). Обратное включение динистора не имеет смысла, так как в этом положении его свойства не проявляются.

Напряжение включения у динисторов из отечественной серии КН102(А—И), может быть от 20 до 150 В (в зависимости от последней буквы в обозначении), а ток удержания имеет постоянное значение и равен 15 мА. Максимальный постоянный ток в открытом состоянии для всех динисторов этой серии составляет 200 мА. Внешне динисторы похожи на обычные полупроводниковые диоды, так что отличать их придется по маркировке.

Чтобы было более понятно, какую пользу можно извлечь от динистора, надо познакомиться с практическими схемами. Наиболее часто на нем делают генератор низкочастотных импульсов. В некоторых схемах динистор используется просто как пороговый элемент, срабатывающий («открывающийся» при нужном напряжении). Например, на рис. 13.2 показана схема блокиратора второго параллельного телефонного аппарата, если снята трубка на любом из них. В этом случае никто не помешает вашему разговору. Принцип работы очень простой. Сигнал вызова в телефонной линии имеет большую амплитуду и проходит через открывающиеся динисторы на все аппараты. Но, если снять трубку на любом из аппаратов, то откроется только тот динистор, через который протекает ток удержания (через разговорный узел телефона). При этом в линии напряжение снизится и будет недостаточным для открывания всех остальных, если на них тоже снять трубки.

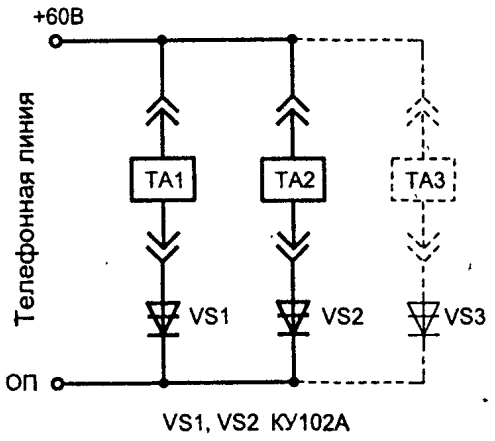


Рис. 13.2. Простейший блокиратор параллельных телефонных аппаратов, выполненный на динисторах

Главный недостаток динисторов, из-за чего они применяются в схемах чрезвычайно редко, — это невозможность регулировки напряжения включения (порога). Гораздо чаще можно встретить управляемые **тринисторы,** или, как их еще называют, тиристоры. Тринистор и внешне и по внутренней структуре не отличается от динистора, но имеет дополнительный вывод, называемый **управляющим электродом.** Вообще, тринистор легко может стать динистором, если на управляющий электрод не подавать никаких сигналов. А вот если между катодом и управляющим электродом включить небольшой источник напряжения G2, как показано на рис. 13.3, напряжение включения начнет снижаться, причем тем больше, чем больше величина напряжения этого источника. При определенном значении напряжения G2 вольт-амперная характеристика тринистора станет такой, как у полупроводникового диода (он открывается сразу). Управляющий электрод после открывания тринистора теряет свои управляющие свойства. Закрыть тринистор можно уже только так, как это делается у динистора, — уменьшив ток через него ниже тока удержания (это происходит при снижении напряжения).

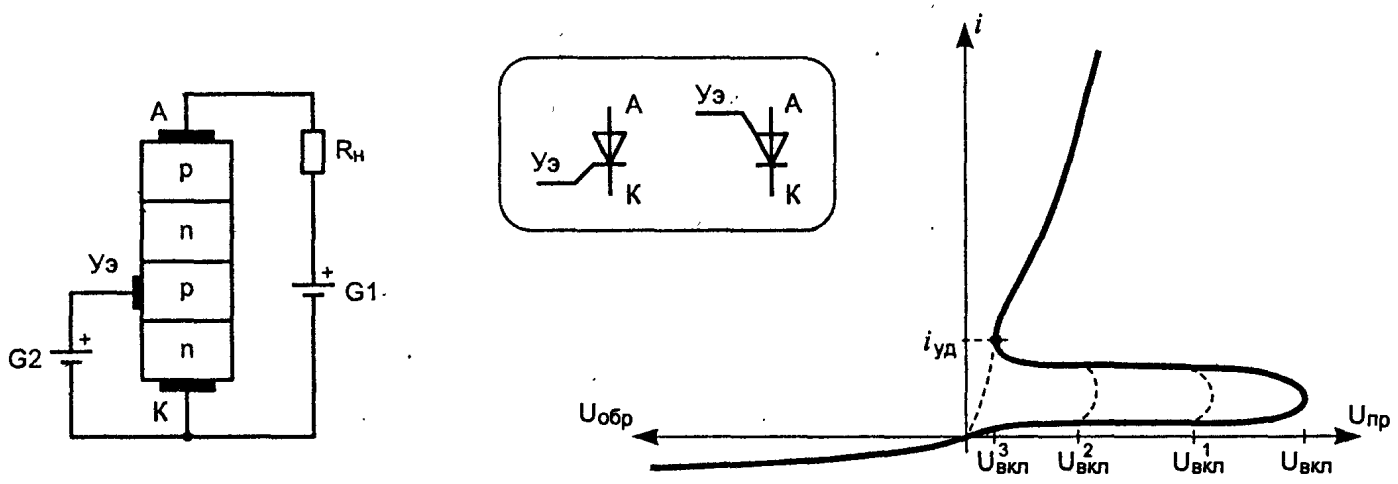


Рис. 13.3. Упрощенное устройство, условное обозначение и вольт-амперная характеристика тринистора (тиристора)

В качестве примера практического применения тиристора на рис. 13.4 показан простейший регулятор температуры жала паяльника. Как видно из схемы, тиристор работает только на одной полуволне переменного напряжения (положительной относительно общего провода), а вторая полуволна (отрицательная) проходит в нагрузку через включенный параллельно тиристору диод. Сделано это специально для упрощения схемы — ведь для данного применения нам не нужно регулировать мощность, поступающую в нагрузку, от нуля. Работает тиристорный регулятор довольно просто. Когда начинает возрастать положительная полуволна входного напряжения, стоящие в цепи управляющего электрода

резисторы ограничивают ток через управляющий электрод тиристора. От положения регулятора R1 зависит время задержки открывания тиристора (или, как еще говорят, угол открывания), что видно на графике. Конечно, форма напряжения в нагрузке будет уже не синусоидальной, но для нагревателя это значения не имеет. При максимальном значении сопротивления R1 тиристор будет полностью закрыт. Угол открывания можно регулировать в диапазоне, показанном на графике затемненным сектором.

Проверять эту схему лучше при помощи вольтметра постоянного тока, подключенного параллельно нагрузке через мостовой выпрямитель. Тиристор может использоваться любого типа (КУ201, КУ202, Т122), но в этом случае оптимальный номинал резистора R2 придется подобрать экспериментально (он ограничивает ток).

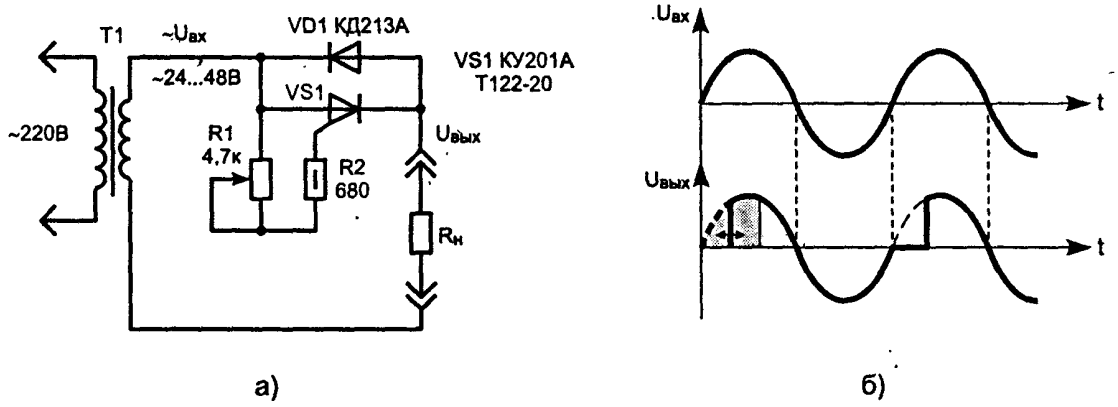


Рис. 13.4. Схема регулятора температуры жала паяльника (*а*) и график, поясняющий работу (*б*)

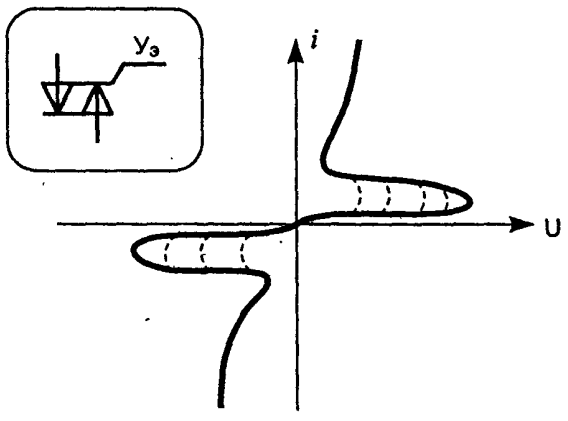


Рис. 13.5. Условное обозначение и вольт-амперная характеристика симистора

Симистор — это симметричный тиристор, который может работать при обоих полярностях напряжения, то есть пропустить ток в оба направления. Вольт-амперная характеристика и условное обозначение симистора показаны на рис. 13.5.

Во всех схемах тиристоры и симисторы применяются как электронные ключи, то есть включатели, управляемые при помощи напряжения, подаваемого на управляющий электрод. Но, в отличие от обычного механического включателя, на электронном ключе в открытом состоянии падает напряжение (около 2 В), что приводит к необходимости использовать для них на больших токах радиаторы теплоотвода.

Общая «беда» всех тиристоров — это невозможность закрыть приборы, находящиеся под током. Управляющий электрод тринисторов и симисторов, как мы знаем, работает только на «открывание». В последнее время, правда, появились так называемые **запираемые тиристоры**, которые все-таки можно закрыть, подав на управляющий электрод отрицательное (закрывающее) напряжение.

Запираемые приборы более удобны для практики, но радиолюбители тем не менее широко используют и классические тиристоры в автоматах световых эффектов, светомузыкальных установках и др. Тиристоры в этих устройствах включаются последовательно с нагрузкой, и переменное напряжение закрывает эти приборы при спадании до нуля.

Одно из главных достоинств тиристоров — возможность пропускать через себя большие токи и выдерживать десятикратные токовые перегрузки. Например, мощный импортный тринистор ST700C20L0 (выпускается фирмой International Rectifier) допускает пропускание через себя тока с постоянным значением до 2000 А и кратковременными перегрузками до 13200 А. Возможности широко распространенных тиристоров серий КУ202 и КУ208 намного скромнее — максимальный постоянный ток до 10 А при максимальном напряжении между электродами до 400 В. Благодаря своей низкой цене эти тиристоры наиболее широко используются в радиолюбительских конструкциях, а в промышленном оборудовании ставят более надежные и мощные из серий Т122-25 (на 25 А), Т132-40 (на 40 А).

Следует запомнить, что некоторые тиристоры не допускают приложения к своим электродам обратного напряжения, а некоторые — его вполне хорошо «держат». В любом случае при разработке конструкции или при подборе аналогов нужно обращать внимание на это обстоятельство. Если под рукой не найдется подходящей замены, можно изготовить диодный мост и исключить подачу отрицательного напряжения на прибор.

Конечно, тиристоры по сравнению с современными транзисторами, работающими в ключевом режиме, обладают рядом существенных недостатков, ограничивающих их область применения (например, низкое быстродействие, из-за чего не могут работать на частотах более 10...100 кГц), но пока они значительно дешевле и обладают высокой надежностью (намного выше, чем у механического ключа, так как при переключения нет искрения), чем и объясняется широкое использование таких компонентов. ■

Однопереходные транзисторы

Лишних извилин не бывает.

Борис Крутиер

В арсенале разработчиков схем присутствует и несколько необычный транзистор, называемый **однопереходным** (в зарубежной литературе его называют еще двухбазовым диодом). Такой элемент имеет нелинейную выходную характеристику, на которой есть участок с отрицательным сопротивлением, рис. 13.6 (отрицательным называют такое сопротивление, у которого при увеличении напряжения ток уменьшается, т. е. все наоборот по отношению к тому, как должно быть по закону Ома). Это свойство позволяет использовать такой транзистор в схемах генерации импульсов.

В качестве примера на рис. 13.7 показан практический генератор на «однопереходнике» вместе с диаграммами напряжений в контрольных точках. Так как обычно частота таких генераторов не выходит за звуковой диапазон, то,

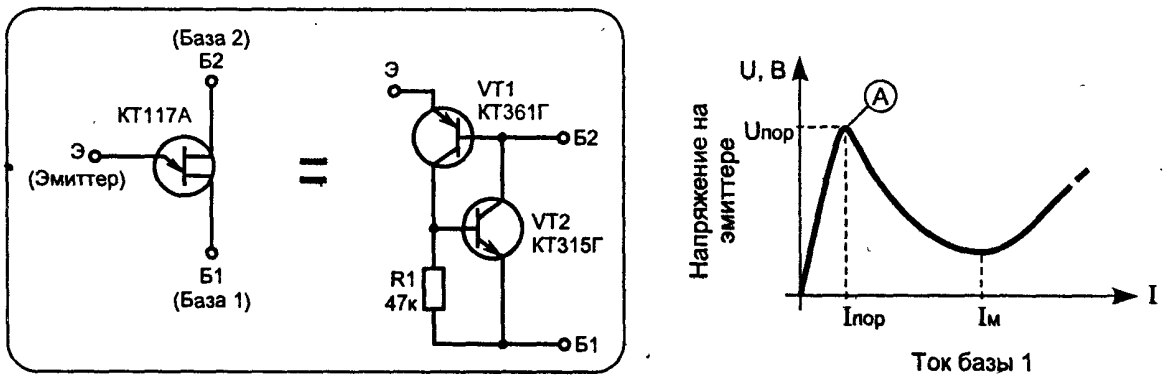


Рис. 13.6. Обозначение на схеме однопереходного транзистора и его вольт-амперная характеристика

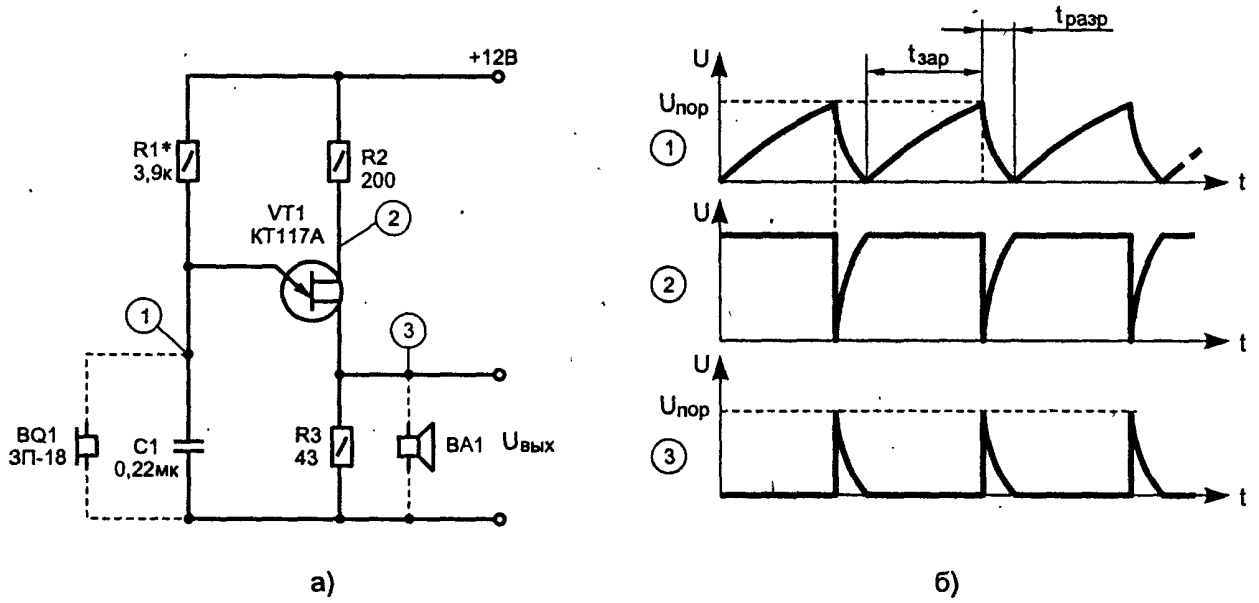


Рис. 13.7. Практическая схема применения однопереходного транзистора (*а*) и поясняющие работу диаграммы напряжений (*б*)

подключив параллельно с конденсатором C1 пьезоизлучатель, мы можем сигнал услышать (звуковой излучатель с маленьким сопротивлением, например, динамик можно включить вместо резистора R3).

В чем заключается преимущество таких схем по сравнению с генераторами, выполненными на обычных транзисторах или микросхемах? Основных достоинств всего четыре, но зато какие!

Первое, что сразу бросается в глаза, — для выполнения генератора требуется минимальное число дополнительных элементов, к тому же все они могут быть малогабаритными.

Второе преимущество — это способность схемы формировать на выходе импульс с большим током, доходящим до единиц ампер. Такие импульсы нужны для электронного управления некоторыми компонентами, например мощными тиристорами или для запуска автогенератора в импульсном источнике питания (последнее применение можно встретить во многих схемах источников питания отечественных телевизоров).

Третье достоинство — генератор легко синхронизировать с частотой питающей сети, для чего достаточно подать на питание схемы не постоянное, а пульсирующее напряжение (эта возможность часто используется в импульсных регуляторах).

Четвертое: малый ток потребления даже при большом выходном импульсном токе. Чтобы понять, почему так происходит, давайте более подробно рассмотрим работу генератора импульсов. В момент включения схемы транзистор VT1 заперт и происходит заряд конденсатора C1 через резистор R1 до порогового уровня, при котором у транзистора открывается переход эмиттер-база 1 (в этот момент он резко уменьшает свое сопротивление — точка А на графике). Через открытый переход и нагрузочный резистор R3 конденсатор C1 быстро разряжается, отдавая всю накопленную в течение продолжительного времени энергию. Вместо R3 можно установить управляющую часть оптрона или обмотку импульсного трансформатора. Резистор R2 ограничивает прямой ток через транзистор в то время, когда он имеет открытый переход.

Частота такого генератора определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{k \cdot R_1 \cdot C_1},$$

где $k = 0{,}22...1{,}61$ — коэффициент, зависит от типа применяемого транзистора и связан с формой его выходной характеристики (рис. 13.6). ■

Знакомство с аналоговыми микросхемами

Мы берем на хранение чужие мысли и знания, только и всего. Нужно, однако, сделать их собственными.

Мишель де Монтень

С простыми усилителями электрических сигналов, построенными на одном-двух транзисторах и некоторых микросхемах, вы уже успели познакомиться и теоретически, и практически по первой книге. Для того чтобы улучшить параметры усилителей сигналов, пришлось схемы усложнять, вводить многокаскадные решения, совмещать разные типы схем, оптимизировать их. В процессе разработок, — а произошло это в конце 50-х гг. XX в. — выяснилось, что возможно заключить несколько транзисторов в отдельный корпус, сделать выводы от нужных точек схемы и предоставить потребителю уже почти готовое устройство, для работы которого достаточно подключать небольшое число дополнительных элементов. Так появились **интегральные микросхемы.** Их внедрение позволило значительно уменьшить размеры конструкций и снизить их стоимость. Ведь микросхема часто стоит намного дешевле, чем та же самая схема, собранная из дискретных компонентов. Но микросхема — это не простой перенос дискретных элементов в один корпус. Технологически выполнять такое сложно и невыгодно. Во всяком случае времена, когда так делали, уже давно прошли. Обычно на одном кристалле изготавливают специально оптимизированные схемы, в которых можно обойтись без внутренних конденсаторов и с

минимальным числом резисторов. Сами резисторы делают как источники стабильного тока на полупроводниках. ■

Операционные усилители

Сегодня в технике усиления и преобразования сигналов широко используется разновидность универсальных аналоговых микросхем — **операционный усилитель** (ОУ). Этот вид микросхемы появился в 60-х гг. XX в. и первоначально предназначался для создания аналоговых электронно-вычислительных машин, устройств обработки радиолокационной и гидроакустической информации и других автоматических высокоточных устройств. На основе операционного усилителя были разработаны типовые схемы, благодаря применению которых можно осуществлять простейшие математические операции: сложение, вычитание, умножение, интегрирование, логарифмирование. Современная элементная база позволяет получать точность преобразований до 0,1%. Наращивая схемы из таких блоков, как из детского конструктора, удавалось обрабатывать сложные сигналы, преобразовывать информацию, заключенную в них. Ныне любые сигналы подвергают математической обработке уже другими методами, о которых рассказывает глава «Логика для цифрового мира». А операционные усилители, по сути представляющие собой усилители постоянного тока, до сих пор широко выпускаются, но используются в другом качестве. На их основе можно создавать широкополосные усилители, фильтры, генераторы колебаний разной формы, элементы стабилизации, измерительные усилители и еще множество других интересных устройств. Мы не сможем рассказать о всех применениях ОУ, но основные схемотехнические идеи приведем обязательно.

Классический операционный усилитель изображен на рис. 13.8. Он имеет два входа — прямой (обозначается знаком «+») и инверсный («—» или кружочек на входной линии), выход, выводы питания, — у некоторых есть еще выводы подключения частотной коррекции (FC) и балансировки нуля (NC). Номера выводов корпуса ставятся за пределами основного контура квадрата (треугольника), а внутри квадрата имеется условный знак в виде треугольничка, который и указывает на то, что это микросхема для усиления сигналов (на основе ОУ изготавливают и другие микросхемы, например, компараторы — там условный знак будет другим). На сложных схемах, чтобы не загромождать ее лишними линиями, затрудняющими чтение чертежа, иногда не указывают около корпуса питающие цепи (это бывает обозначено текстом или в виде таблицы).

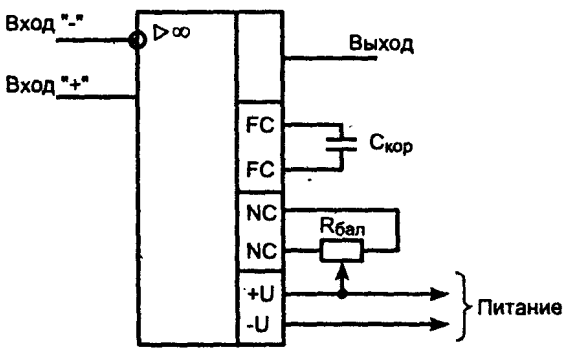


Рис. 13.8. Типовой операционный усилитель (так его часто показывают на электрических схемах, но встречаются и другие обозначения)

Внутренняя структура такого усилителя построена на основе дифференциального каскада с несимметричной нагрузкой, подробно рассмотренного в кни-

ге 1. Поэтому ОУ и имеет два разных входа. Подав сигнал на прямой вход, мы получим совпадение фаз входного и выходного сигналов; инвертирующий вход «повернет» фазу на 180 градусов (поэтому он инвертирующим и называется).

Операционные усилители обладают высоким коэффициентом усиления напряжения — $10^4...10^6$ раз — и, если мы подадим на любой из его входов синусоидальный сигнал, на выходе получатся прямоугольные импульсы. Чтобы микросхема работала в линейном режиме, к тому же усиливала входной сигнал не больше и не меньше, чем нам требуется, вводят отрицательную обратную связь. Как это делается, мы расскажем чуть позже.

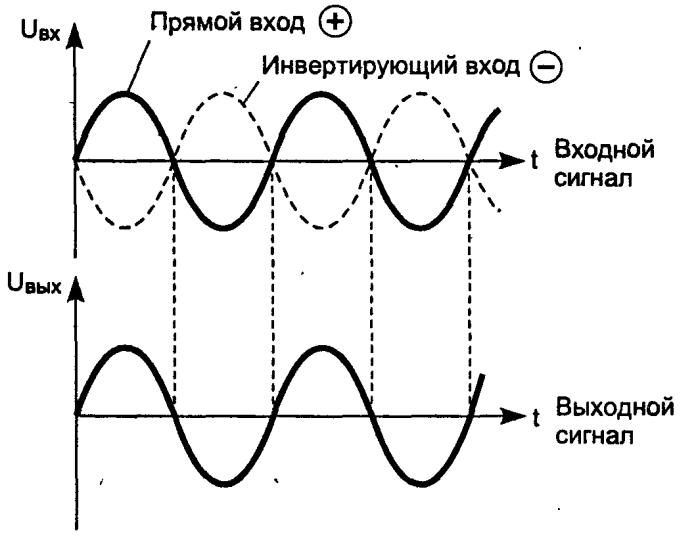


Рис. 13.9. Принцип работы операционного усилителя

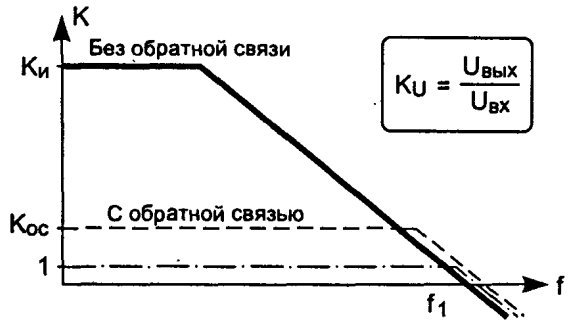


Рис. 13.10. Определение частоты граничного усиления

Во многих «операционниках» имеются специальные выводы для подключения балансировочного резистора ($R_{бал}$), который может задавать постоянный сигнал на выходе микросхемы. Зачем? Любой реальный ОУ имеет небольшое смещение нуля на входе (единицы или десятки милливольт), и, усилившись, это смещение может превратиться на выходе в значительную величину. Например, для популярного ОУ типа КР544УД2А напряжение смещения составляет 30 мВ, а коэффициент усиления по напряжению — $2 \cdot 10^4$ (без ООС). На выходе теоретически мы получим постоянную составляющую, равную 60 В, а практически она будет ограничена напряжением питания 15 В. ОУ без обратной связи используются реже, чем ОУ, охваченные ООС, но все равно, даже при типичных коэффициентах усиления 10...1000 смещение сигнала на выходе может быть довольно большим. Чтобы устранить его, вращают переменный балансировочный резистор.

Теперь о частотных свойствах операционных усилителей. ОУ без обратной связи не снижает амплитуду сигнала на выходе только при очень небольших значениях частоты. Затем, с повышением частоты, усиление начинает падать из-за частотных свойств внутренних транзисторов. На определенной частоте f_1, называемой **граничной частотой усиления**, сигнал перестает усиливаться по напряжению, т. е. $K_U = 1$ (см. рис. 13.10), — ее еще называют частотой единичного усиления (именно об этом говорит индекс 1). Равномерной полосы усиления добиваются за счет снижения коэффициента усиления (введением обратной связи). Частота f_1 нормируется в справочниках.

Операционные усилители не могут работать без частотной коррекции. Она бывает внешней — тогда на корпусе предусматриваются выводы для подключения конденсаторов небольшой емкости или RC цепей. Современные усилители все чаще используют встроенную коррекцию, когда она оптимизируется на стадии изготовления и встраивается в «операционник». Зачем нужна частотная коррекция? Любой операционный усилитель без частотной коррекции обладает сложной частотной характеристикой и легко может стать генератором колебаний, «завестись». Самовозбуждение усилителей — очень неприятная вещь, борьбе с которой посвящена не одна сотня книг. Только представьте, что ваш УНЧ не слушается регулятора громкости и непрерывно гудит...

Частотная коррекция (рис. 13.11) повышает устойчивость ОУ к возбуждению.

Еще одна интересная характеристика ОУ — скорость нарастания выходного сигнала (V_u). Она указывается в В/мкс, а измеряют ее по форме фронта выходного сигнала, как показано на рис. 13.12.

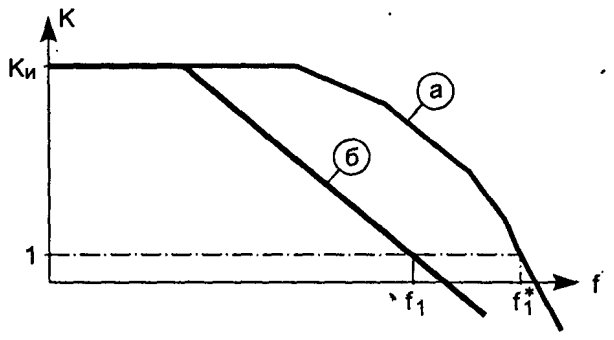


Рис. 13.11. Частотные характеристики нескорректированного (а) и скорректированного (б)

На вход усилителя подают так называемый «скачок» — мгновенное изменение уровня сигнала. На выходе сигнал не сразу вырастет до своего максимального уровня, а станет «набирать» высоту постепенно. Чем быстрее «наберет» сигнал свой уровень, тем более быстродействующим считается ОУ.

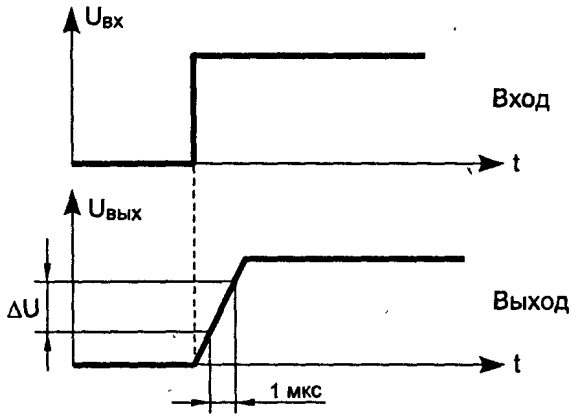


Рис. 13.12. Определение скорости нарастания выходного сигнала ОУ

Из традиционных параметров укажем входное и выходное сопротивления ОУ, а также максимальный входной сигнал. Есть еще один очень важный параметр, называемый **минимальным сопротивлением нагрузки.** Снижение сопротивления ниже этого уровня может привести к перегрузке ОУ и даже к выходу его из строя (если, конечно, в нем не предусмотрена защита на такой случай).

В зависимости от значения параметров ОУ разделяются на следующие виды:

- общего применения;
- быстродействующие;
- прецизионные (с высокой стабильностью характеристик);
- микромощные (с низким энергопотреблением);
- программируемые (у этих ОУ один или несколько параметров могут управляться специальным внешним сигналом).

В радиолюбительской практике используются ОУ серий К140, КР544, КР574, К1401, К1407, К538, К548, К157 и многие другие, в том числе и зарубежного производства.

Большинство ОУ питается двухполярным напряжением ±15 В, но может питаться меньшим и однополярным. Более того, «операционники», рассчитанные на двухполярное напряжение, могут быть включены на однополярное.

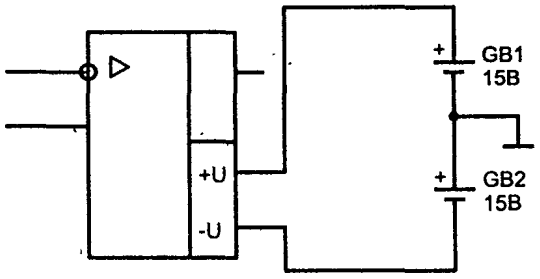


Рис. 13.13. Классическая схема питания ОУ от двухполярного источника со средней точкой

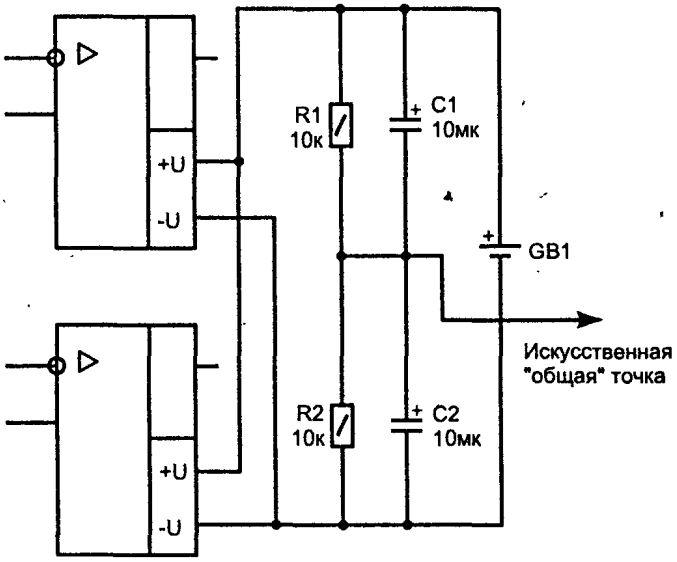


Рис. 13.14. Искусственная «общая точка» на основе резисторного делителя

Успешное функционирование электронной схемы в значительной степени зависит от того, насколько хорошо обеспечено питание ее каскадов. Допустим, мы изготовили хороший источник питания, например из опубликованных в первой книге. Но одного только источника мало! Такой ИП обеспечивает только общее питание схемы, а задача распределения напряжения по каскадам лежит на разработчике схемы. Мы уделим внимание питанию операционных усилителей, так как здесь есть несколько маленьких хитростей, которые радиолюбители, да и не только они широко применяют.

Классический вариант питания операционного усилителя показан на рис. 13.13. Здесь имеется источник двухполярного напряжения ±15 В, и в таком включении работать с ОУ очень просто, в чем вы убедились, изготовив конструкции, приведенные в этой главе. Как говорится, никаких проблем. Но чаще всего хочется использовать однополярный источник напряжения (как правило, такие источники наиболее распространены в радиолюбительских схемах). В то же время, анализируя параметры известных ОУ, можно сделать интересный вывод — большинство их работает и при пониженном питании, чем это гарантируют технические условия. В таком случае удобно задать искусственную «общую точку» (это так называемая «плавающая земля»), как показано на рис. 13.14. Важно отметить, что такая «общая точка» годится для работы с переменными сигналами, и то не более чем для 3—4 ОУ, подключенных к ней. Но в любом случае рекомендуется на минимально возможном расстоянии от выводов питания микросхем и «общей точки» включать керамические конденсаторы небольшой емкости (примерно 0,015...0,1 мкФ) — они на рисунке не показаны. Эти конденсаторы в значительной степени «спасают» схему от импульсных помех по цепям питания. Помогают они, как мы говорили, и в случае взаимного влияния микросхем друг на друга. ■

Компараторы

Любой операционный усилитель можно превратить в компаратор, если не охватывать его обратной связью. Название этого электронного устройства происходит от английского слова «compare» — сравнение. Отсюда понятна функция компаратора — сравнение двух аналоговых сигналов по величине и выдача информации о том, какой сигнал больше (рис. 13.15).

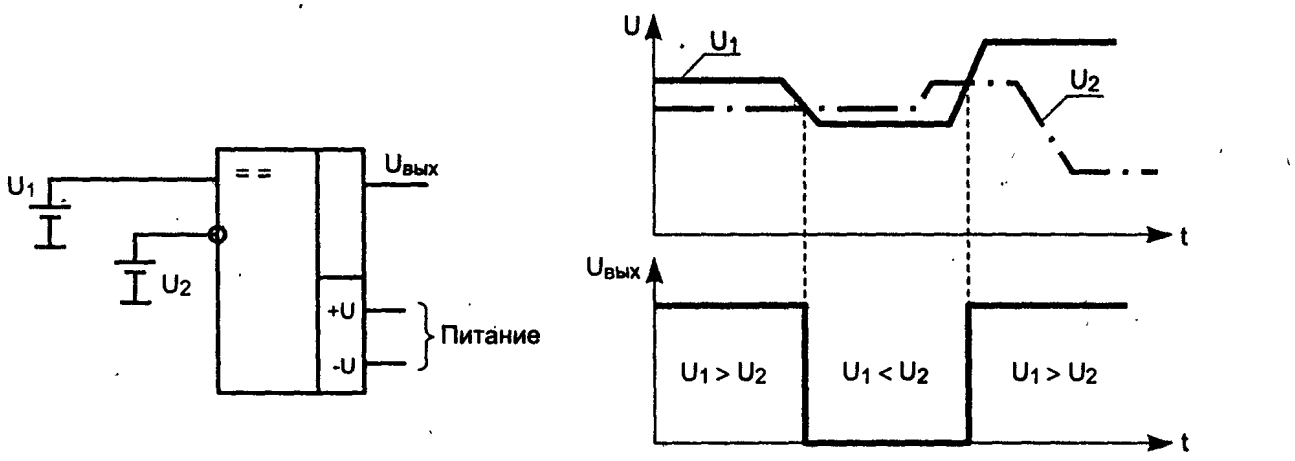


Рис. 13.15. Принцип работы компаратора

Компаратору не интересны абсолютные уровни сигналов (лишь бы они не превышали максимально допустимых значений), он реагирует только на их разницу. Почему компаратор может получиться из обычного операционного усилителя? Вспомните, как «забрасывает» выходной сигнал даже от небольшого смещения на входе, и все станет ясно. Для работы в качестве компаратора нужно выбирать ОУ с максимальной скоростью нарастания сигнала и с максимальным усилением. Разработаны и специальные микросхемы компараторов, которые оптимизированы именно по скорости нарастания.

Наиболее универсальны и просты в применении популярные микросхемы компараторов К554СА3 или К521СА3 (это практически одна микросхема, но выполненная в разных корпусах, рис. 13.16). У этих конкретных микросхем имеется еще одно достоинство — довольно мощный выход, позволяющий подключать нагрузку с током до 50 мА, к тому же там, в отличие от обычных ОУ, установлен выходной транзистор с неподключенными (открытыми) коллектором и эмиттером, что позволяет, в зависимости от необходимости, включать его по схеме с общим эмиттером или с общим коллектором. Схема с открытым коллектором удобна, когда надо согласовать выходной уровень со стандартным для логических микросхем разных типов (выход с открытым коллектором часто обозначают внутри микросхемы условным знаком в виде ромбика с чертой внизу). Напряжение питания у этих микросхем может быть двухполярным ±15 В или же однополярным от 5 до 15 В.

Не пытайтесь использовать компаратор как операционный усилитель — он совершенно не предназначен для работы в таком режиме!

А теперь поговорим об особенностях применения компараторов, точнее, о путях улучшения их характеристик. Компаратор — это типичная пороговая

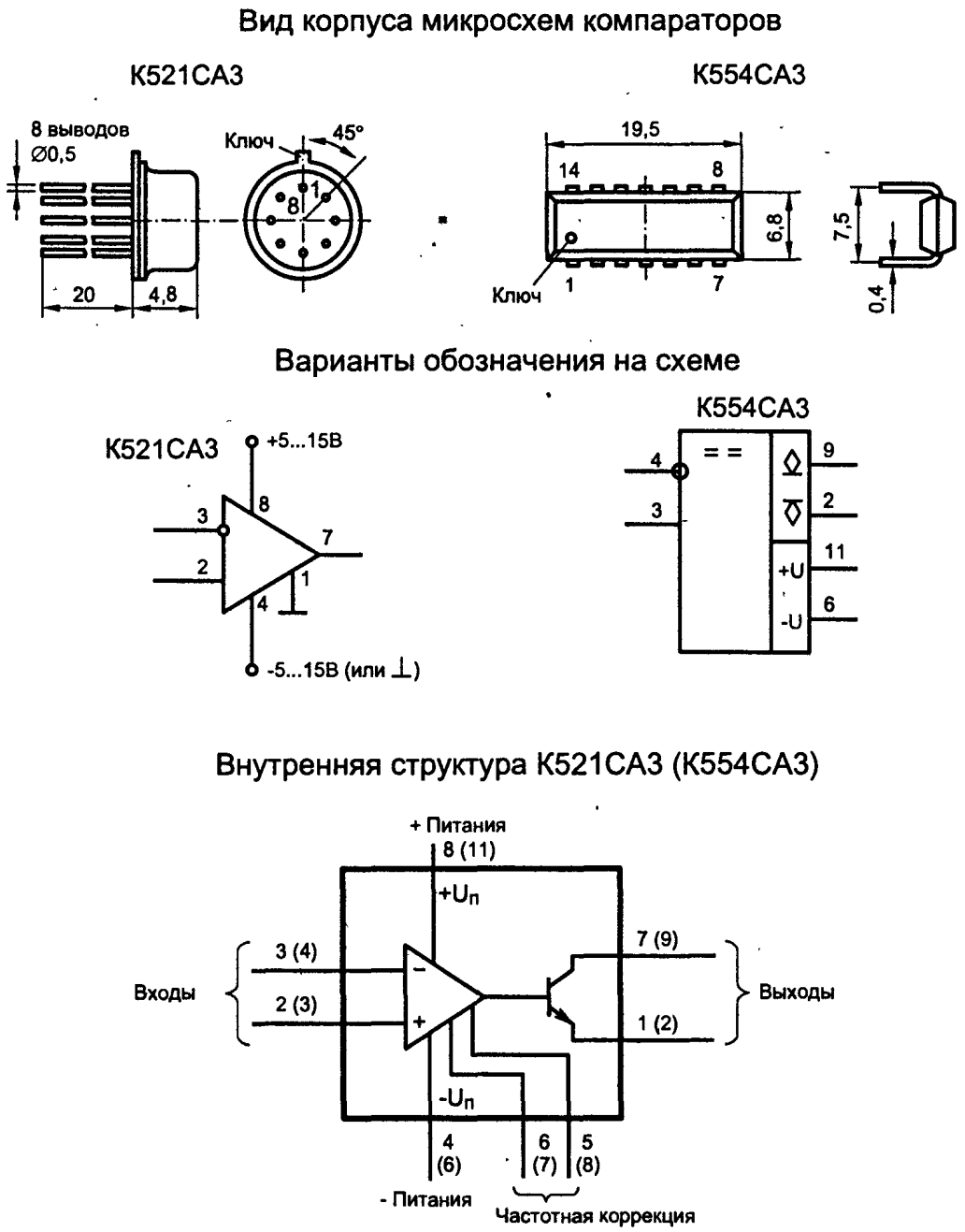


Рис. 13.16. Внешний вид корпусов компараторов К521СА3, К554СА3, варианты их обозначения на электрической схеме (выводы для частотной коррекции, если они не используются, то обычно не показываются) и внутреннее строение выхода (в скобках указаны номера выводов для К554СА3)

схема, которая изменяет свое состояние при превышении входным сигналом определенного уровня. Обычный компаратор чаще всего неплохо выполняет возложенную на него задачу, но иногда возникают неприятные ситуации, и вот почему. Допустим, мы подали на его вход медленно меняющийся сигнал, в котором присутствует небольшая высокочастотная пульсация (такое бывает довольно часто), и намереваемся сравнить его с установленным уровнем, называемым пороговым. Тогда близко к порогу переключения компаратора начнутся его переключения с большой частотой — возникает так называемый **дребезг** — короткие импульсы на выходе (рис. 13.17). С явлением дребезга мы часто сталкиваемся при срабатывании механических контактов, но тут случай особый, не механический.

Увеличить помехоустойчивость компаратора позволяет установка между входами небольшой емкости (10...1000 пФ), но при этом уменьшится и быстродействие срабатывания, а это не всегда допустимо.

Устранить дребезг можно и другим способом, воспользовавшись идеей, реализованной на рис. 13.18. Суть ее состоит в установке разных порогов для переключения микросхемы, как это показано на графике, рис. 13.19 (включение происходит при большем напряжении, чем выключение). Это довольно часто используется в специальных формирователях сигнала, названных **триггером Шмитта**. Характеристика триггера Шмитта (рис. 13.19, *б*) с установленными разными порогами переключения называется **гистерезисной**.

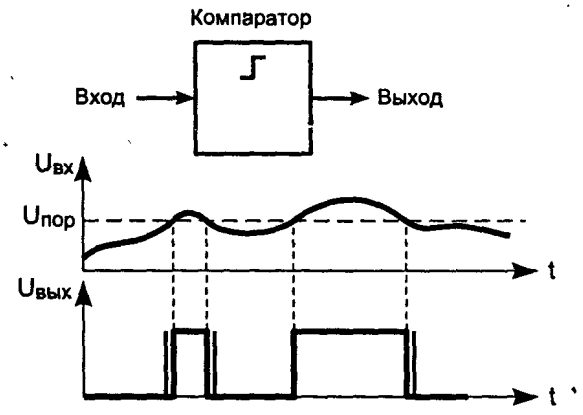


Рис. 13.17. Дребезг выходного сигнала компаратора под воздействием помех

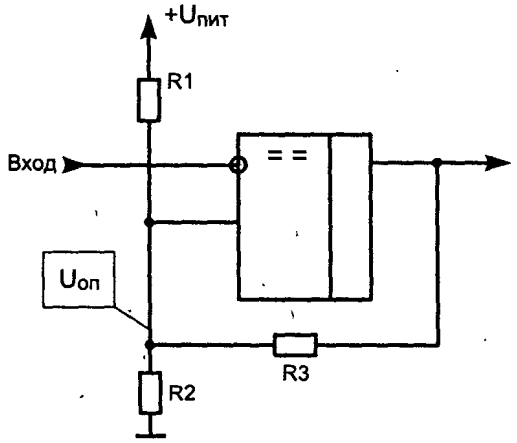


Рис. 13.18. Введение гистерезиса в компаратор за счет положительной обратной связи

Принцип работы этой схемы (рис. 13.18) таков: поскольку выходное напряжение компаратора, практически равное напряжению питания ОУ, «гуляет» в пределах $\pm U_{пит}$, резистор R3 сдвигает потенциал неинвертирующего вывода то в

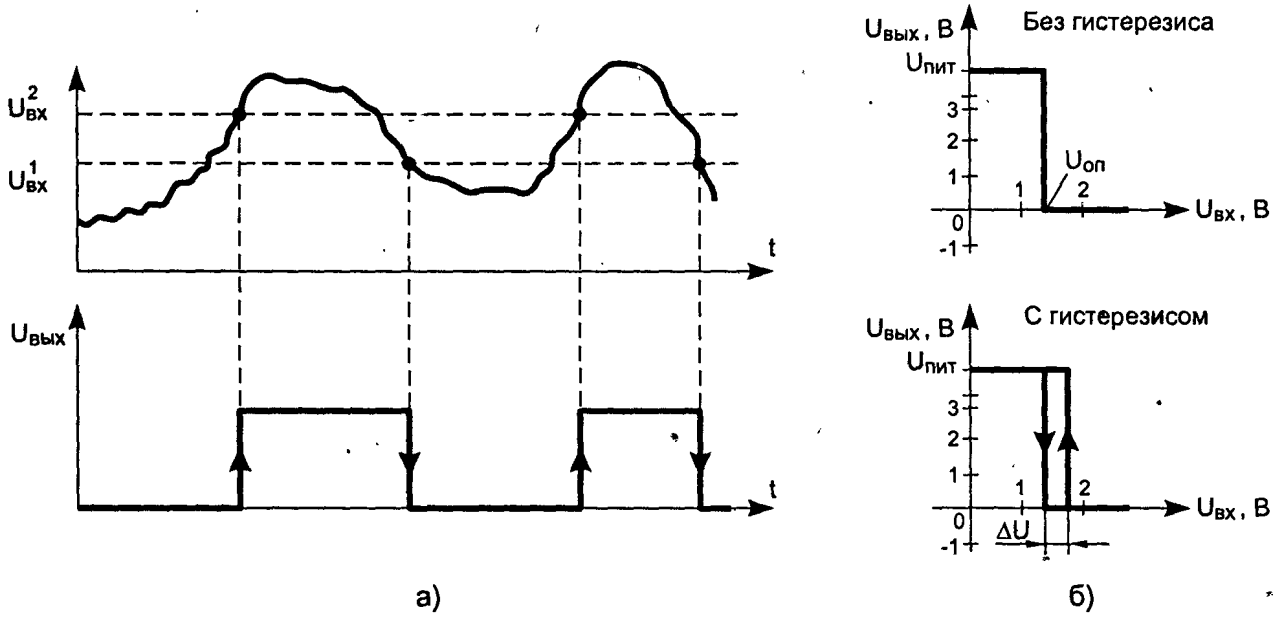


Рис. 13.19. Разнесение порогов срабатывания компаратора (*а*) и передаточная гистерезисная характеристика (б)

одном, то в другом направлении, создавая дополнительный ток то через резистор R1, то через резистор R2. Увеличение тока, как мы знаем, ведет к увеличению падения напряжения, что и сдвигает уровень сравнения. Кроме того, резистор R3 — это положительная обратная связь, которая ускоряет переключение компаратора, быстрее «забрасывает» его в крайние положения.

Отметим, что в цифровой технике, о которой у нас намечен отдельный разговор, широко применяются готовые триггеры Шмитта (резистор ОС уже установлен в корпусе микросхемы). Применяются они и в составе аналоговых микросхем. Например, в **драйверных**, предназначенных для управления в ключевом режиме мощными полевыми транзисторами MOSFET и IGBT, на входе обязательно имеются формирователи типа триггера Шмитта.

В качестве примера применения компаратора с гистерезисом на рис. 13.20 показана практическая схема, собранная на К521СА3. Она может служить для автоматического включения вентилятора при повышении температуры в комнате или подвале ниже установленного регулировочным резистором предела (это позволяет уменьшить колебания температуры в помещении). Данная схема довольно универсальна и в зависимости от типа применяемого датчика (фоторезистор, ИК-диод и т. д.) может выполнять разные задачи.

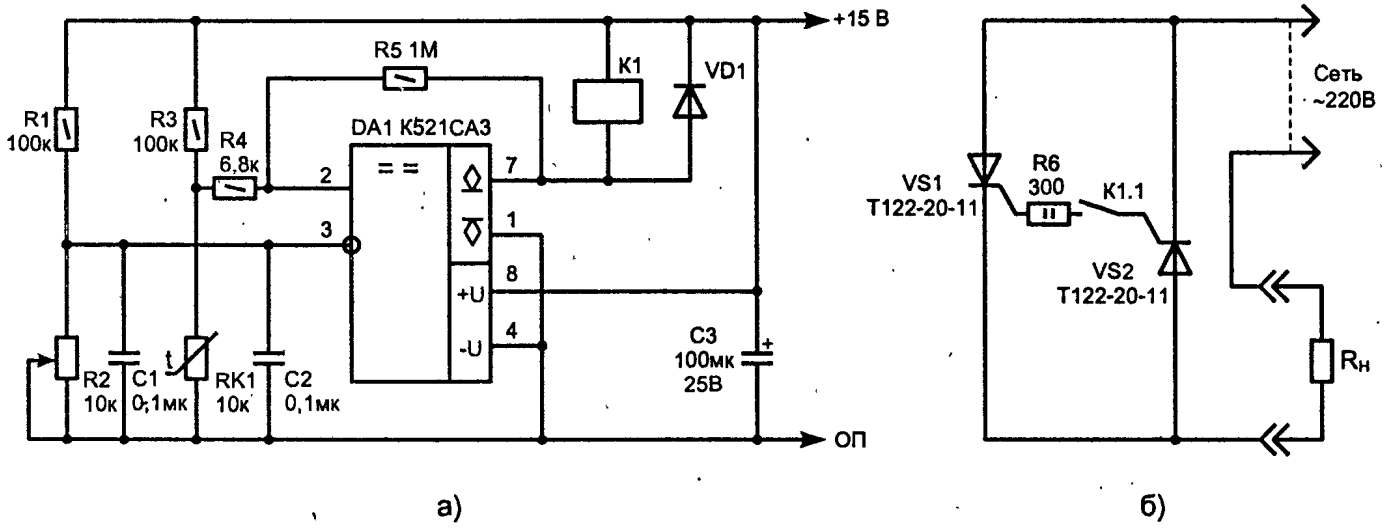


Рис. 13.20. Схема автоматического термостабилизатора на компараторе (*а*) и вариант управления включением мощной нагрузки (*б*)

Работает устройство следующим образом. На один вход микросхемы подается опорное напряжение с делителя на резисторах, а на второй — напряжение с делителя, образованного термодатчиком и добавочным резистором. Так как входное напряжение у микросхемы из-за инерционности датчика меняется медленно, чтобы не столкнуться с дребезгом контактов реле (что ускоряет их износ), в схему введена положительная обратная связь (резистор R5), обеспечивающая гистерезис при переключении. Реле подойдет любое малогабаритное, на напряжение срабатывания 9 или 12 В, см. справочный раздел книги. В качестве термодатчика лучше взять терморезистор из серии СТ3-19 с любым номиналом (он при нагревании уменьшает свое сопротивление).

В зависимости от того, к какому входу микросхемы подключен датчик, реле будет срабатывать при понижении или повышении напряжения на входе. ■

Аналоговые таймеры

Первые микросхемы интегральных таймеров появились в 1971 г. и были представлены фирмой *Signetics Corporation* как SE555 и NE555 (у них отличие заключалось только в допустимом рабочем температурном диапазоне: −55...+125 °С и 0...70 °С соответственно — так называемое **индустриальное** и **коммерческое** исполнения). В то время это были самые первые широкодоступные микросхемы, которые, благодаря своей универсальности, позволили собирать многие времязадающие узлы радиоаппаратуры с применением минимального числа внешних элементов. Но все же основное назначение микросхем — это формирование точных временных интервалов. Отсюда пошло их название — **таймеры**.

Внутренняя структура оказалась настолько удачной, что за прошедшие более чем 30 лет эти микросхемы все еще очень популярны и используются во многих устройствах. Под разной маркировкой их выпускают почти все крупные мировые производители электронных компонентов. Отечественная промышленность тоже делает аналоги с маркировкой: КР1006ВИ1, КФ1006ВИ1, ЭКФ1087ВИ2, КР1087ВИ2, КР1441ВИ1 и др.

Все эти таймеры обладают такими достоинствами, как стабильность работы в широком диапазоне питающих напряжений, достаточно мощный выход и дешевизна. При этом выход легко согласуется с любыми аналоговыми и большинством цифровых микросхем (ТТЛ, МОП, КМОП). Несмотря на то, что микросхема называется таймером, благодаря своей структуре она может применяться и во многих других электронных устройствах; например в генераторах импульсов различной формы (прямоугольных, треугольных, пилообразных, модулированных по длительности или частоте), помехоустойчивых повторителях сигнала, триггерах и т. д. В дальнейшем вы сможете познакомиться со всеми этими устройствами по книге [1]. Пока же мы рассмотрим наиболее популярные и простые применения.

Следует отметить, что в настоящее время существует две разновидности таких микросхем: классические (изготовленные на основе биполярных транзисторов) и микромощные (на основе полевых). Микромощные потребляют меньше, но и нагрузочная способность у них по току поменьше 50...100 мА (к тому же стоят пока существенно дороже). Но, несмотря на разные внутренние принципиальные схемы и технологии изготовления таймеров от различных производителей, все они полностью совместимы по номерам и назначению выводов, что фактически стало стандартом, ну и, конечно, работают аналогично.

Большинство таких микросхем производится в 8-выводном корпусе, показанном на рис. 13.21. Кроме одиночных 555-таймеров, выпускаются также сдвоенные из серии 556 (два одинаковых таймера в одном корпусе, в котором общими сделаны цепи питания) и счетверенные таймеры, но они менее распространены и доступны по цене. Других отличий от одиночных таймеров эти микросхемы не имеют и работают так же, поэтому мы пока обойдемся одинарными.

Чтобы понять, как работает любая схема, выполненная на основе таймера, давайте более подробно рассмотрим внутреннее устройство классического ва-

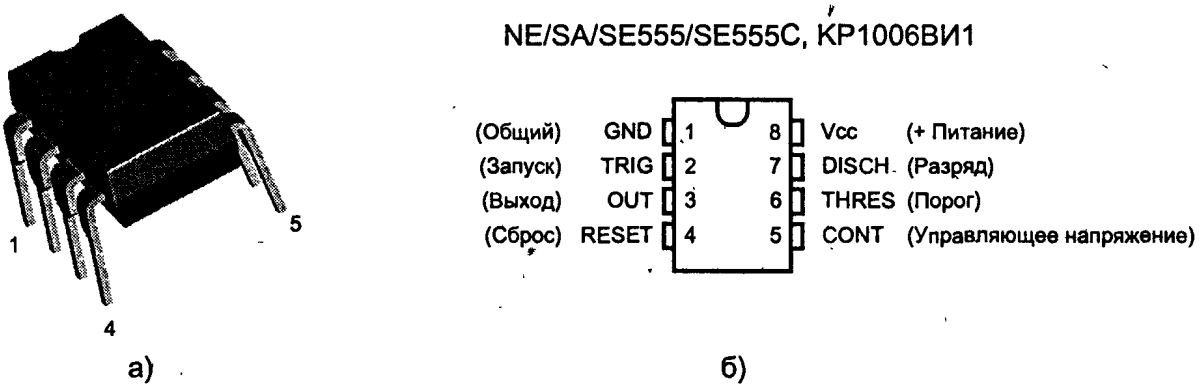


Рис. 13.21. Вид корпуса (*а*) и назначение выводов (*б*)

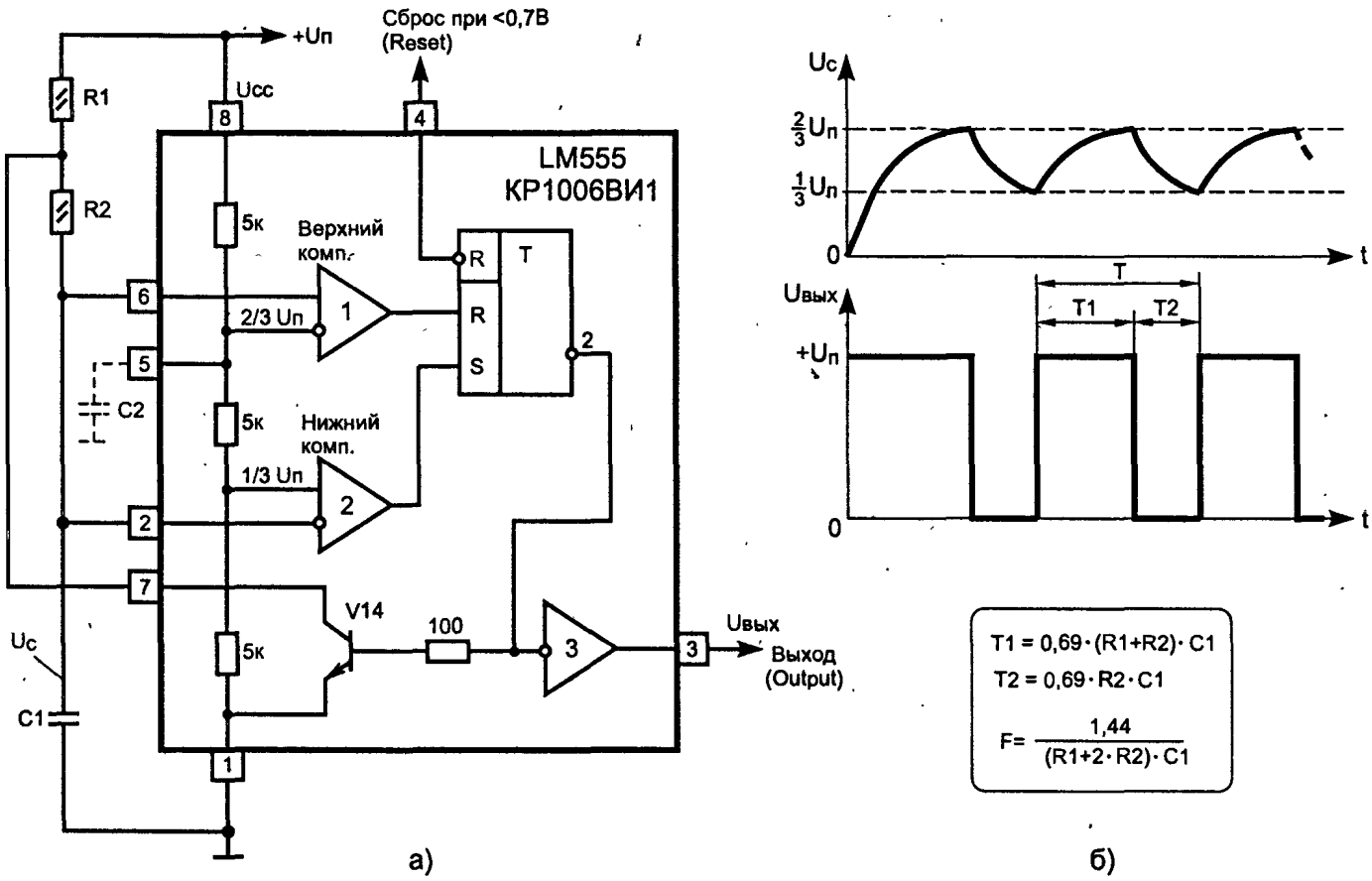


Рис. 13.22. Функциональная схема таймера с подключенными внешними времязадающими цепями для работы в режиме автогенератора

рианта микросхемы, показанной на рис. 13.22. Приведенные на рисунке диаграммы напряжений в контрольных точках поясняют работу.

На рисунке внутри микросхемы показаны основные узлы:

- два операционных усилителя, работающих в качестве компараторов (1 и 2);
- RS-триггер (T);
- выходной усилитель для повышения нагрузочной способности (3);
- ключевой транзистор, имеющий открытый коллектор (V14), его иногда называют разрядным.

Назначение всех выводов микросхемы следующее (в скобках указаны встречающиеся на схемах обозначения):

1 — (GND, −Vcc) **общий провод**, соединяется с цепью отрицательного питающего напряжения.

2 — (TRIG, Trigger, ST) **вход компаратора**, который используется для управления переключением выходного напряжения. Пороговым напряжением для переключения триггера является уровень 0,667 от Uп.

3 — (OUT, Output) **выход**, предназначен для подключения нагрузки с током до 200 мА. Транзисторы выходного усилителя (3) включены по схеме Дарлингтона и обеспечивают напряжение на выходе приблизительно на 10% меньше, чем уровень питания ($+U_п$). С этого выхода сигнал можно подавать непосредственно и на входы цифровых микросхем — ТТЛ или КМОП логики.

4 — (RST, Reset) **сброс**, этот вывод используется для возвращения выхода (3) к нулевому состоянию. Пороговый уровень напряжения сброса ≤0,7 В (этот уровень не зависит от величины $U_п$, ток входа должен быть не менее 0,1 мА). Вход сброса обладает приоритетом и устанавливает на выходе низкое напряжение независимо от состояния любых других входов. Когда этот вход не используется, чтобы избежать возможности ложного срабатывания (сброса от помех), рекомендуется его соединять с $+U_п$.

5 — (CONT, Control voltage, CN) **контрольное напряжение**, этот вывод позволяет получить прямой доступ к точке делителя с уровнем 2/3 напряжения питания, являющейся опорной для работы верхнего компаратора. Использование данного вывода позволяет менять этот уровень для получения модификаций схемы. В случае, если вывод управляющего напряжения не используется, для защиты от помех к нему подключают конденсатор емкостью не менее 0,01 мкФ, соединенный с общим проводом.

6 — (THRES, Threshold, SR) **вход компаратора**, который используется для переключения выхода в нулевое состояние. Это происходит, когда напряжение на входе превысит уровень 2/3 от Uп (нормальное пороговое напряжение вывода 5).

7 — (DISCH, Discharge) **вывод коллектора** транзистора (V14), эмиттер которого подключен к общему проводу. Состояние этого транзистора идентично состоянию выхода 3, т. е. он открыт (имеет низкое сопротивление), когда на выходе ноль (напряжение насыщения обычно ниже 100 мВ) и заперт (высокое сопротивление — ток утечки не более 20 нА), когда на выходе присутствует напряжение. Обычно он служит для разряда внешнего времязадающего конденсатора. В некоторых применениях микросхемы этот вывод коллектора может использоваться и как вспомогательный выход с нагрузочной способностью по току до 100 мА.

8 — (+Vcc, +Uп) **питание**, на этот вывод подается положительное напряжение питания в диапазоне от 4,5 до 16...18 В.

На практических принципиальных схемах внутреннюю структуру рисуют довольно редко. Это удобно только для того, чтобы разобраться в работе микросхемы. Чаще всего вы встретите упрощенный вид, например, как это показано на рис. 13.23, где изображена та же самая схема, что и на рис. 13.22, только к выходу D1/3 уже подключена через конденсатор нагрузка — динамик с со-

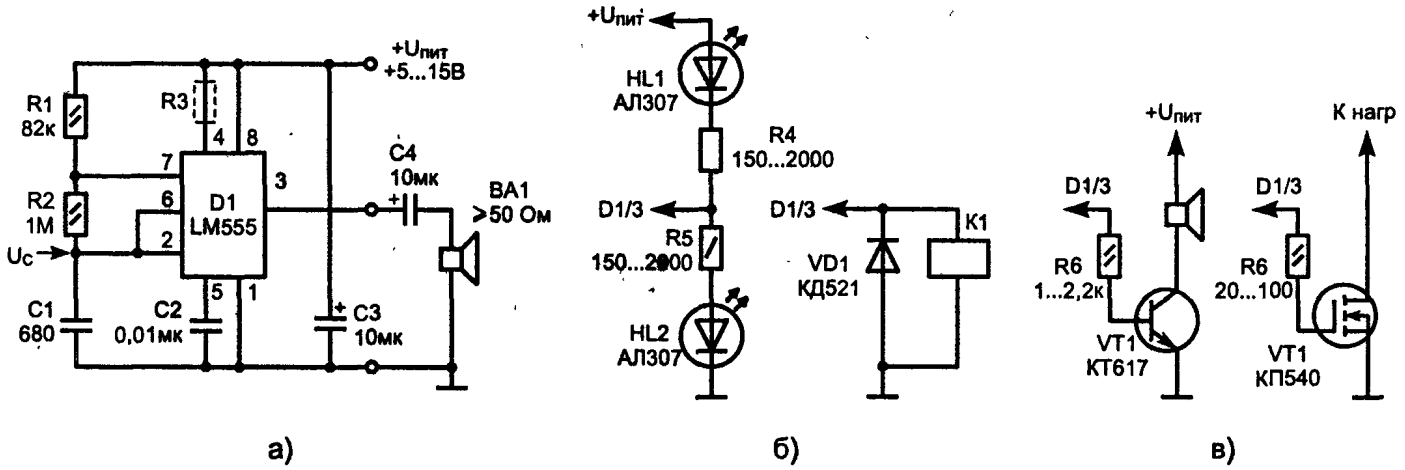


Рис. 13.23. Схема генератора импульсов (*а*) и разные вариаиты подключения нагрузки (*б*, *в*)

противлением катушки не менее 50 Ом. Вид нагрузки и место ее подключения зависят от того, что мы хотим получить от таймера, т. е. от его времязадающей цепи. Нагрузкой могут быть светодиоды, ИК-диоды, реле (рис. 13.23, *б*). А в случаях, когда требуется управлять мощной нагрузкой (например, низкоомным динамиком), потребляющей более 100...150 мА, ставят дополнительный каскад с усилителем на полевом или биполярном транзисторе (рис. 13.23, *в*).

Частота выходных импульсов определяется по формуле, приведенной на рис. 13.22 (размерность величин для расчета можно брать из табл. 13.1, так как в калькулятор неудобно вводить единицы в фарадах и омах, к тому же с большим числом разрядов может работать еще и не каждый из них).

Таблица 13.1. Выбор удобной размерности величин для расчета частоты

Частота, F	Емкость, C	Сопротивление, R
Гц	Ф	Ом
Гц	мкФ	МОм
кГц	мкФ	кОм
кГц	нФ	МОм

Давайте рассмотрим, как работает самый распространенный генератор импульсов (называемый еще мультивибратором). Проще всего изучать работу микросхемы, если собрать типовую схему на печатной плате (рис. 13.24). Расположение элементов на ней специально не очень плотное — это позволяет легко модифицировать схему. Например, установить времязадающий конденсатор большой величины и получить генератор сверхнизкочастотных импульсов (мигалку-маяк для аварийных огней или других целей), а так же производить любые изменения в схеме из тех, что будут указаны далее. Так, если вместо резистора R2 установить перемычку, то мы получим одновибратор. Топология платы также предусматривает установку светодиодного индикатора и усилителя мощности на транзисторе (эти элементы на плате показаны пунктиром). Но обо всем по порядку.

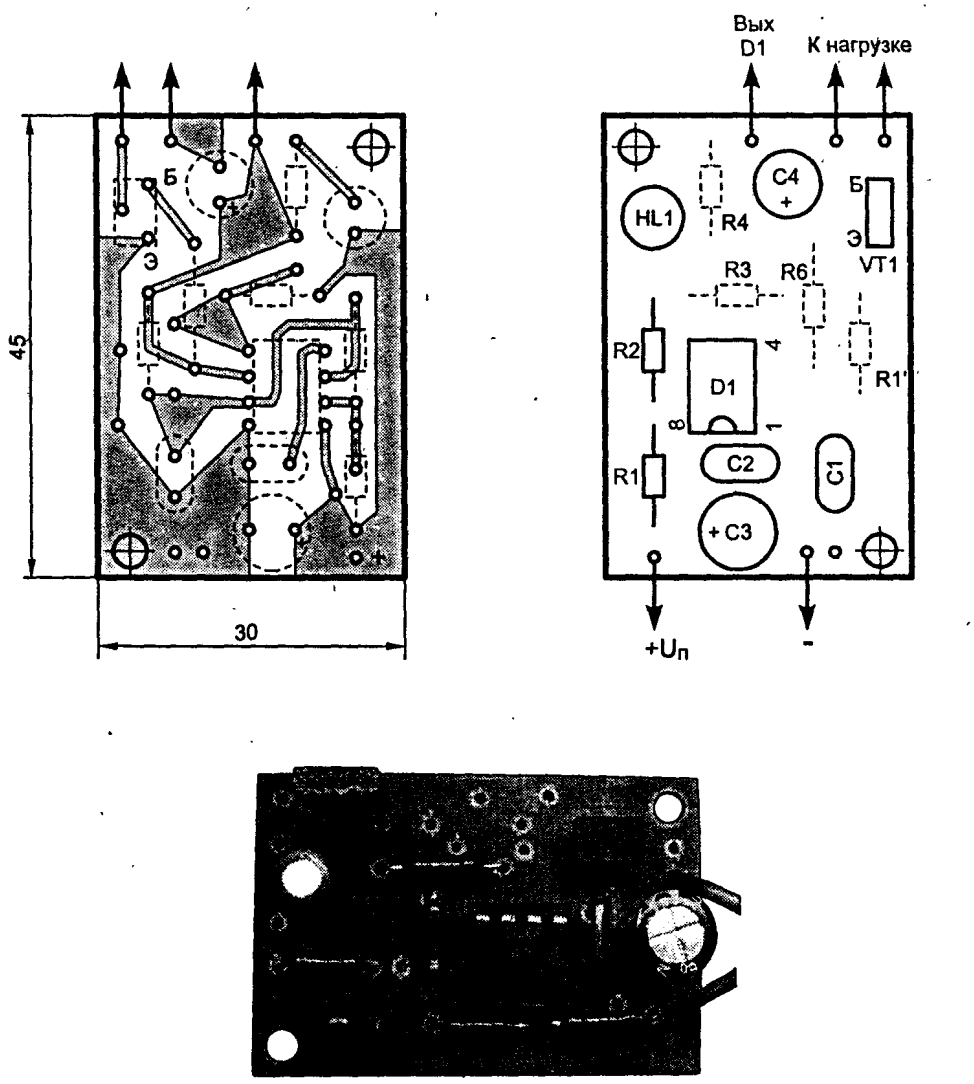


Рис. 13.24. Печатная плата и внешний вид монтажа

Сначала, пожалуй, следует понять, как работает имеющийся в составе микросхемы RS-триггер, — именно с него сигнал поступает на выход. Вообще-то триггеры чаще можно встретить в цифровой технике — так называется логический элемент, который, в зависимости от управляющего сигнала на входах, может переключать выход, к тому же запоминает и хранит это состояние. На выходе может быть одно из двух устойчивых положений — когда есть напряжение, близкое к питающему (лог. 1), либо же оно около нуля (лог. 0). Импульс на входе S (setup — установка) устанавливает на выходе высокий уровень напряжения, а на входе R (reset — сброс) — низкий. Дополнительный инверсный вход R (вывод 4) является **приоритетным**, а это значит, что при низком напряжении на нем выход триггера устанавливается в «ноль» независимо от других управляющих сигналов.

Управляют переключением триггера два компаратора. В любой практической схеме, собранной на таймере, работающем в режиме формирования импульсов, имеется времязадающий конденсатор, уровень напряжения на котором и контролируют компараторы (как работают компараторы, вы уже знаете из предыдущего раздела). Заряд конденсатора от источника напряжения идет через один или два добавочных резистора (число резисторов зависит от вида

схемы). У компараторов имеется два порога срабатывания 1/3 и 2/3 от Uп (т. е. работа схемы не зависит от уровня питания). Разработчики микросхемы позаботились для нас, чтобы чувствительность формируемого интервала времени к изменению питающего напряжения была довольно низкой (обычно не более 0,1% на вольт). Это значит, что применять стабилизацию питания необходимо только в исключительных случаях.

В генераторе, схема которого показана на рис. 13.22 (13.23), напряжение на конденсаторе как раз и меняется в интервале от 2/3 до 1/3 от Uп, так как в эти моменты срабатывают соответствующие компараторы и происходит переключение режимов заряд/разряд конденсатора. Из схемы видно, что заряд C1 проходит через два резистора R1 + R2, а разряд через более короткую цепь — всего один — R2 (за счет включения транзистора V14). Естественно, в этом случае и длительность у выходных импульсов будет несимметричной.

На рис. 13.25 показаны различные модификации генераторов, обладающие особыми свойствами, например позволяющие получить симметричные импульсы (когда T1 = T2, их называют меандром) или импульсы с регулируемой скважностью в широких пределах при неизменной частоте (например, если лампа аварийных огней будет светиться короткими вспышками, это значительно уменьшит потребление энергии). В этих схемах не используется вывод 7, а разряд конденсатора (так же, как и заряд) проходит через выход микросхемы.

Такой генератор может быть не только тактовым (задающим частоту) для работы простейшей цифровой схемы или преобразователя, но и применяться для звукового оповещения (создания сигнала тревоги).

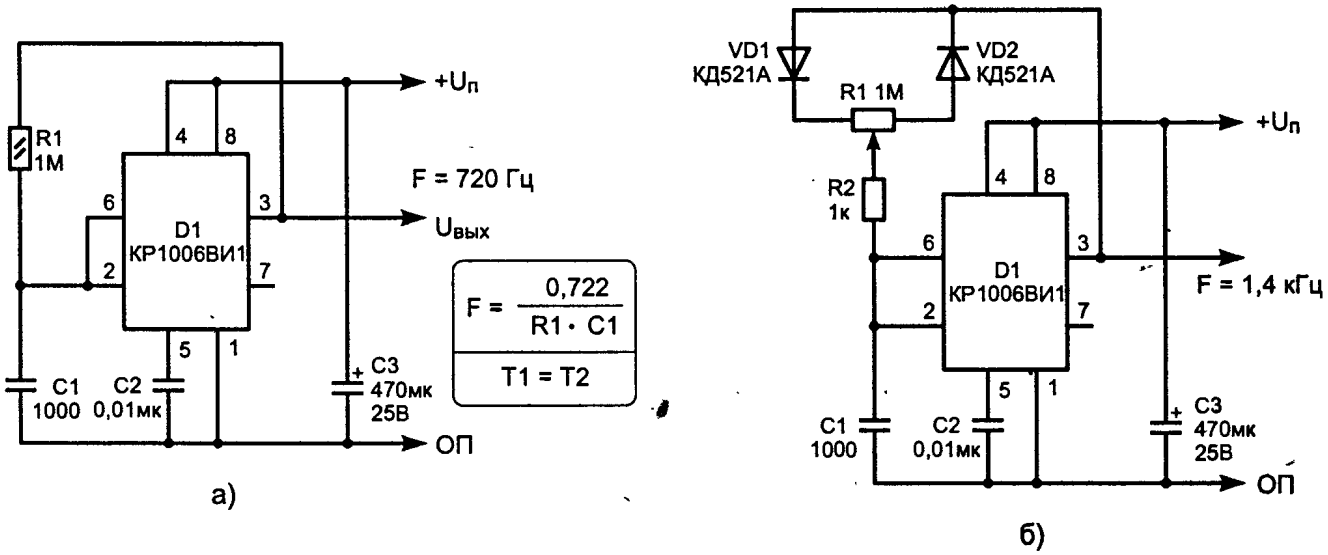


Рис. 13.25. Варианты генераторов импульсов:
***а* — меандра; *б* — с регулируемой скважностью при неизменной частоте**

Для генераторов, собранных на классических микросхемах из серии 555, максимальная частота импульсов обычно не превышает 200...500 кГц, но современные аналоги, например из серии 7555, позволяют работать с частотой 1,1 МГц, а TLC555 — 2,1 МГц. При этом надо учитывать, что все микросхемы могут работать и на более высоких частотах, чем это рекомендовано производителями, если для вас не нужны гарантии по стабильности частоты и не важ-

но, какие будут завалы фронтов у выходных импульсов (они станут больше похожи на искаженный синус).

Схемы на таймерах можно легко включать каскадно, т. е. друг за другом, когда первая микросхема управляет второй. Это позволяет получать прерывистое, двухтональное или плавно меняющееся звучание. Например, в схеме на рис. 13.26, если частота у генератора D1 значительно более низкая, чем у D2, то в динамике получится двухтональный сигнал.

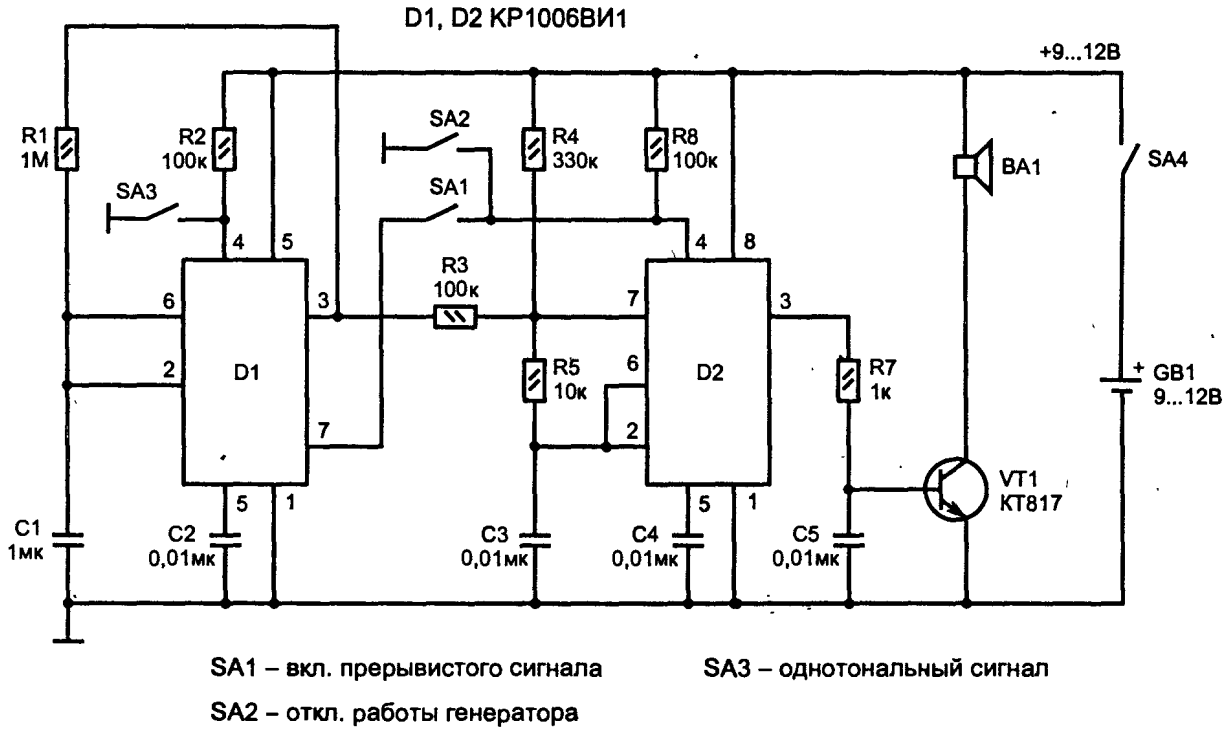


Рис. 13.26. Каскадное включение микросхем для получения многофункционального генератора

Имеющийся в схеме включатель SA1 позволяет превращать сигнал из двухтонального в прерывистый — генератор D1 периодически отключает работу D2 (путем подачи через контакты SA1 на вход D2/4 уровня логического нуля). Замечено, что прерывистый звуковой сигнал сильнее привлекает внимание и менее утомителен для слуха. Причем частоту повторения сигналов можно регулировать в широком диапазоне. Приведенная схема предусматривает электронное управление включением, т. е. электрическим сигналом (нулем) можно полностью отключить выходную микросхему. В схеме эту задачу выполняет включатель SA2. Если ввести еще один включатель SA3, то с его помощью генератор можно сделать однотональным, так как при этом отключается генератор на микросхеме D1.

Если же у вас нет необходимости устанавливать произвольную частоту повторения, а достаточно и 2 Гц (два сигнала в секунду), то можно воспользоваться более простой схемой, выполненной всего на одном таймере и специальном светодиоде (с прерывистым свечением), рис. 13.27.

Ну а теперь давайте познакомимся с практической схемой одновибратора. На рис. 13.28 показано типовое включение микросхемы для получения на выходе одного импульса заданной длительности. При подаче питания на схему, так

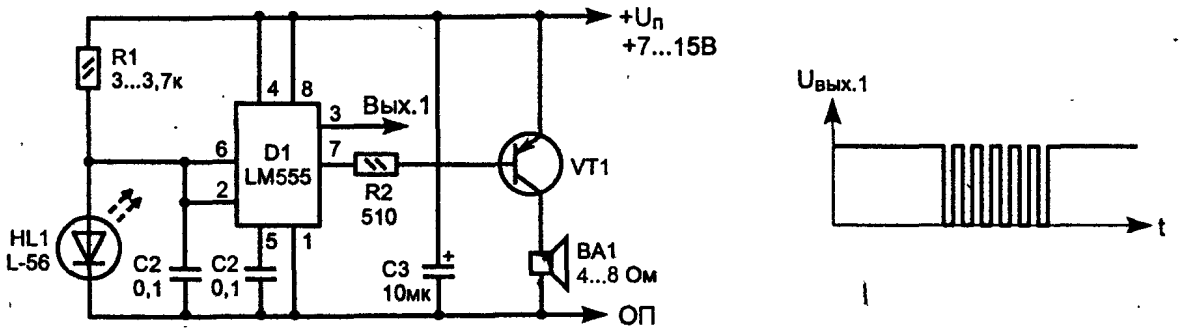


Рис. 13.27. Генератор прерывистого звукового сигнала на мигающем светодиоде

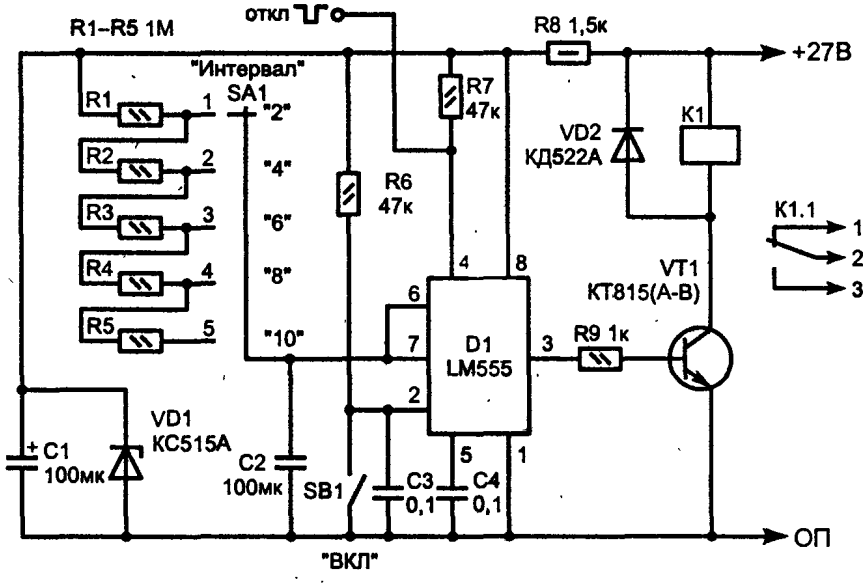


Рис. 13.28. Таймер для отключения нагрузки через заданный интервал времени

как на инверсном входе нижнего компаратора уровень напряжения низкий, внутренний триггер включится, и на выходе (вывод 3) появится напряжение. Длительность импульса, т. е. время присутствия напряжения на выходе, определяется временем заряда конденсатора С2 до уровня напряжения срабатывания верхнего компаратора (2/3 от Uп). Его легко можно рассчитать по формуле:

$$T = 1{,}1 \cdot C \cdot (R1 + ... + Rn),$$

где Т — в секундах, С — в фарадах, R — в омах.

Чтобы была возможность выбирать разные временные интервалы, времязадающих резисторов может быть установлено много и при помощи переключателя коммутироваться нужные (на схеме их показано всего 5). При указанных номиналах интервалы получаются 2, 4, 6, 8, 10 мин. Любую внешнюю нагрузку (зарядное устройство, ионизатор, нагреватель, приемник или что-то еще) отключит группа контактов электромагнитного реле К1.1 — его можно подобрать по справочному разделу приложения. Напряжение питания схемы выбирается в зависимости от номинального рабочего напряжения реле. Кнопка SB1 служит для того, чтобы повторно включить таймер (не выключая питание).

Для монтажа этой схемы можно воспользоваться топологией печатной платы на рис. 13.29.

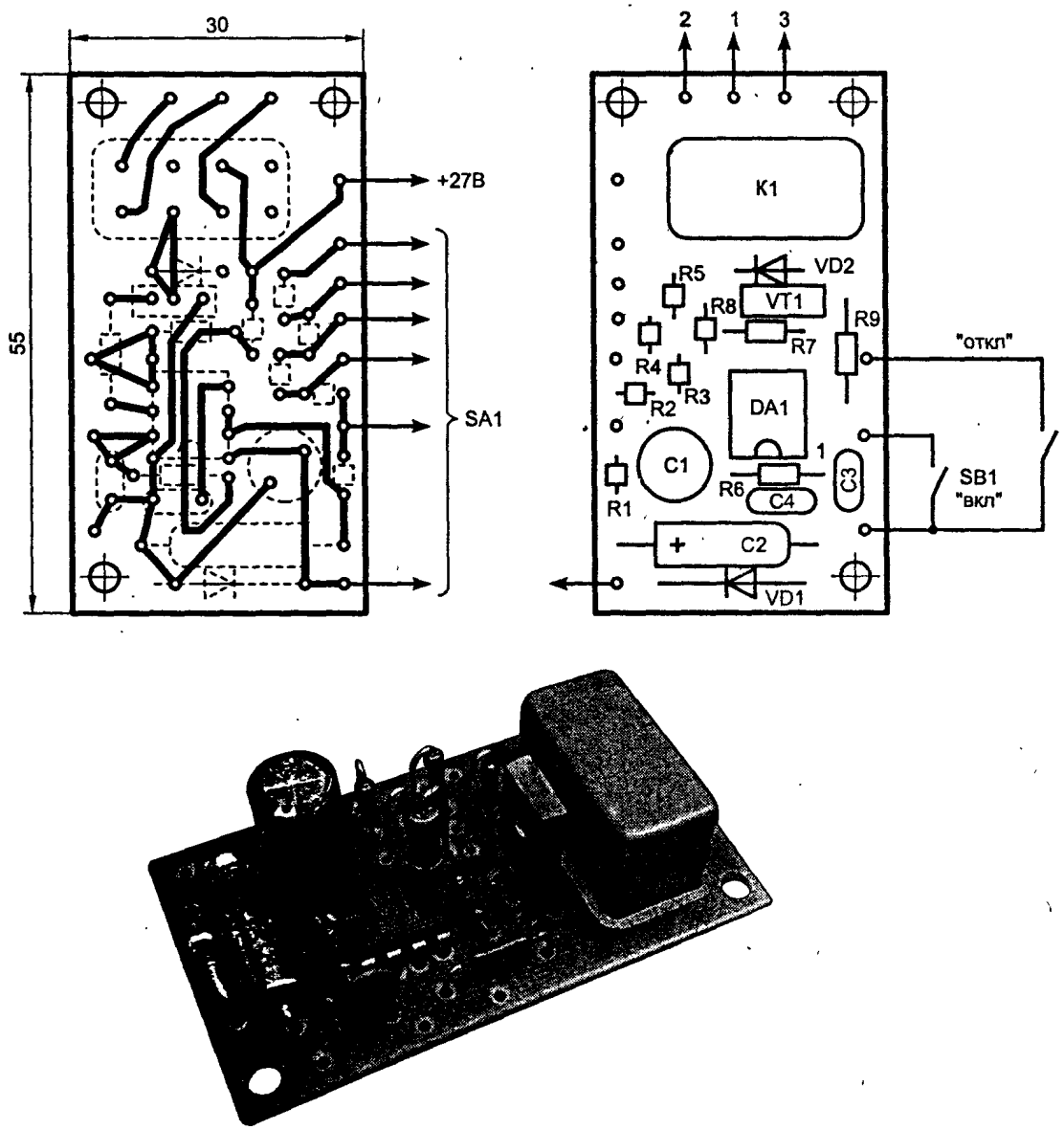


Рис. 13.29. Топология печатной платы, расположение элементов и вид монтажа таймера (реле использовано типа РЭС47 на 27 В)

Обычно у каждого, кто собирает временной таймер, своя цель, и, соответственно, нужно иметь свои интервалы времени. В этом случае удобно воспользоваться расчетом по приведенной выше формуле. А чтобы получить значение временного интервала сразу в нужной размерности, при выборе величин удобно руководствоваться табл. 13.2. Можно также воспользоваться компьютерными программами для расчета, см. главу «Компьютер в лаборатории радиолюбителя».

Значения времязадающих элементов могут изменяться в широких пределах, и теоретически не существует ограничений на их выбор, но на практике они все же есть (это справедливо и для генераторов). С точки зрения экономичности работы устанавливать R1 меньше 10 кОм нецелесообразно. Практический минимум для С3 приблизительно 95 пФ — при более низких значениях паразитные емкости станут оказывать существенное влияние на точность формируемого интервала. Воспользовавшись этими значениями, можно рассчитать минимальную длительность импульса на выходе — она составит 1 мкс, что получается в 100 раз меньше, чем рекомендуемый минимум (1 мс), но это позволяет иметь большой запас в выборе значений R и С (обычно удобнее бы-

Таблица 13.2. Выбор удобной размерности величин для расчета временных интервалов

Интервал, T	Емкость, C	Сопротивление, R
с	Ф	Ом
с	мкФ	МОм
мс	мкФ	кОм
мс	нФ	МОм
мкс	нФ	кОм
мкс	пФ	МОм

вает сначала выбрать конденсатор из стандартного ряда, имеющий малые габариты, а затем рассчитать резистор).

Верхний предел для резисторов (R1 + Rn) находится приблизительно около 15 МОм, но он должен быть выбран меньше, если необходимо получить у формируемого импульса длительность с точностью не хуже, чем указано в паспорте для микросхемы (обычно 1%). Верхний предел сопротивления связан со значением входного тока через выводы микросхемы (утечка). Например, при пороговом токе утечки 120 нА это значение получается 14 МОм (когда рабочее напряжение 5 В). Но, так как при формировании больших временных интервалов обычно используются полярные оксидные конденсаторы с большими номиналами, в этом случае их утечку также следует учитывать, поскольку она может быть соизмерима с входной у микросхемы. Иначе при больших значениях R может получиться ситуация, когда в процессе заряда напряжение на конденсаторе не сможет дорасти до порогового значения (2/3 Uп). В этом случае выходной триггер не переключится. Поэтому на практике значение номинала R выбирают с запасом так, чтобы это не могло случиться даже при максимальном технологическом разбросе применяемых деталей. К тому же для получения импульсов большой длительности лучше использовать специальные оксидные конденсаторы с низкой утечкой (танталовые). ■

Другие аналоговые микросхемы

Этот подраздел может быть очень длинным, а может быть очень коротким. Авторы решили остановиться на втором варианте, поскольку описать все типы специализированных аналоговых микросхем, использующихся в современной технике, просто невозможно. Вот краткий перечень устройств, в которых можно встретить эти микросхемы. Например, в телефонных аппаратах — схемы вызова абонента, усилительные схемы, схемы набора номера. В радиоприемной и телевизионной технике, в частности, в бытовых телевизорах, очень много специализированных аналоговых микросхем. Впрочем, если рассматривать внутреннее устройство этих микросхем, то окажется, что они состоят из дискретных элементов, операционных усилителей, компараторов, таймеров и других схемотехнических блоков. В любом случае, если читатель столкнется с такой микросхемой, ему нужно будет разыскать на нее техническую документацию и разобраться с принципами работы. ■

Микросхемы в практических конструкциях

Трудное — это то, что может быть сделано немедленно;
невозможное — то, что потребует немного больше времени.

Джордж Сантаяна

Знакомство с новой микросхемой у радиолюбителя (да и не только у него) начинается с изучения ее параметров и возможностей. Но этого мало — нужно включить ее так, чтобы она правильно функционировала в схеме, не перегревалась, не выходила из строя. Итак, давайте разберемся со схемами включения операционных усилителей. Чтобы этот раздел не показался скучным и утомительным, мы решили познакомить читателя с простыми практическими конструкциями, но и про теорию также не забыть. ■

Усилители на ОУ

Мы уже ранее говорили, что операционные усилители в режиме усиления не могут работать без обратной связи. Более того, обратную связь можно ввести так, чтобы заставить ОУ формировать выходной сигнал в фазе со входным, или сдвинуть выходной сигнал на 180 градусов — инвертировать его. Соответственно, широко используются две основные схемы включения ОУ — неинвертирующая и инвертирующая (рис. 13.30).

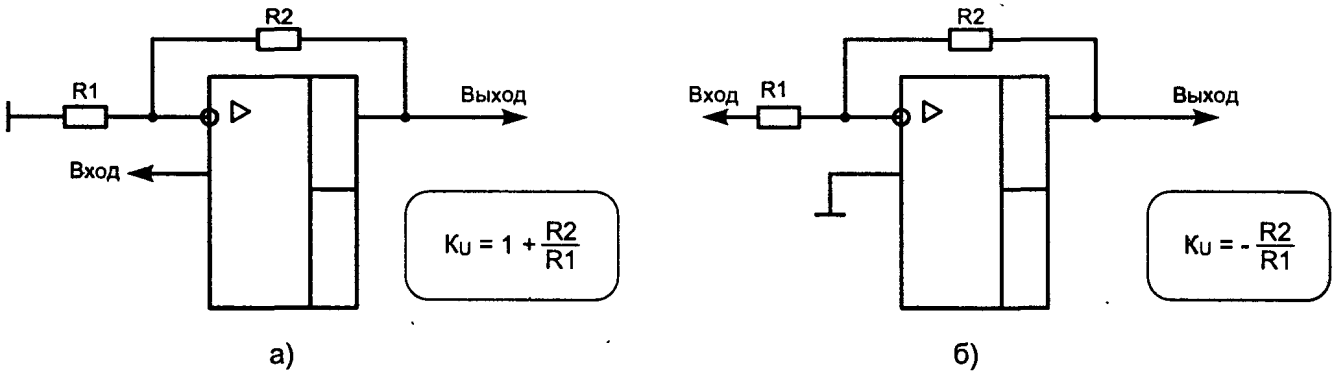


Рис. 13.30. Схемы включения ОУ: *а* — неинвертирующая; *б* — инвертирующая

Формулы по которым можно определить коэффициент усиления (k_u) каскада приведены на рисунках. Знак «минус» означает инверсию сигнала. Входное сопротивление усилителя по схеме рис. 13.30, *а* велико и равно входному сопротивлению микросхемы, а входное сопротивление схемы на рис. 13.30, *б* — равно резистору R1.

А что если в схеме на рис. 13.30, *а* резистор R1 будет очень большим, а R2 — очень маленьким? Тогда она придет к виду, показанному на рис. 13.31. Это — так называемый повторитель сигнала, использующийся, как и классический транзисторный повторитель, для согласования источника сигнала и нагрузки. Коэффициент передачи такой схемы:

$$K_u = 1.$$

Входное сопротивление равно входному сопротивлению ОУ. В случае использования в качестве повторителя микросхемы, построенной на основе полевых транзисторов, входное сопротивление может составлять десятки мегаом, как например, у «операционника» КР544УД1А.

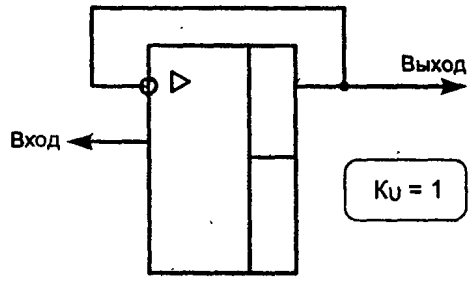


Рис. 13.31. Повторитель входного сигнала

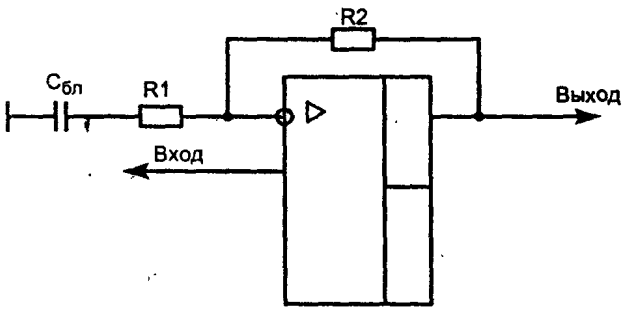


Рис. 13.32. Схема для усиления переменных сигналов

Все перечисленные схемы годятся для усиления как переменных, так и постоянных сигналов. Если требуется усиливать только переменные сигналы, причем начиная с какой-то минимальной частоты, для минимизации постоянного смещения можно не использовать балансировочное сопротивление, а построить схему так, как показано на рис. 13.32. Тогда для постоянного тока усилитель будет обладать свойством повторителя, а переменный сигнал — усиливается в соответствие с правилами построения неинвертирующих схем.

Давайте сразу же попробуем на практике использовать полученные нами знания. Например, можно «оживить» старый кассетный магнитофон или плеер, когда-то сломанный и теперь пылящийся без дела. Важно только, чтобы механическая его часть, называемая лентопротяжным механизмом (ЛПМ), была целой, да крутился электродвигатель. Если в доме не найдется сломанной звуковоспроизводящей техники, можно купить ЛПМ по совсем смешной цене на радиолюбительском рынке.

В составе любого классического магнитофона есть **магнитная головка**, которая преобразует магнитное поле в электрический сигнал. Осуществляет это преобразование индукционная катушка. Магнитная головка имеет две независимые катушки для воспроизведения стереофонического сигнала или одну — для монофонических записей. Соответственно, стереофоническая головка имеет четыре наружных вывода, а монофоническая — два. Если в вашем распоряжении окажется стереомагнитофон, можете «оживлять» его в стереоварианте, изготовив два идентичных канала усиления звука, если мономагнитофон — достаточно одного канала. Кстати, магнитную головку можно заменить, приобретя ее все на том же радиорынке. Проверять головку на целостность лучше всего «прозвонкой» выводов тестером, включенным на измерение сопротивления.

В магнитофоне имеется еще одна магнитная головка, называемая **стирающей**. Конструктивно она выполнена так же, но обладает худшими характеристиками, чем головка **записи-воспроизведения**. Эта головка в кассетном магнитофоне всегда смещена относительно середины кассеты, и ее нужно отключить или вообще убрать.

Для работы нам понадобится источник двухполярного напряжения ±15 В и практически любой операционный усилитель, например из серии К140 или

КР544. Мы будем придерживаться типономинала КР544УД2А. Читатель может также использовать варианты с двухполярным питанием ±2,5 В (К1401УД2А), ±1,2 В (КР1407УД2) или другие низковольтные ОУ. Важно только разобраться в цоколевке микросхемы. И, конечно, необходим УНЧ, например собранный по одной из приведенных в первой книге схем.

Вначале давайте соберем на макетной плате схему, показанную на рис. 13.33. Как мы знаем, это — неинвертирующее включение ОУ, причем с достаточно большим коэффициентом усиления (170). Частотная характеристика этого усилителя показана на рис. 13.34 линией «3». В чем недостаток такой схемы? Попробуйте включить магнитофон и прослушать звук. Он может оказаться неестественно шипящим, с отсутствием низких частот и хрипами. Первый недостаток мы будем «лечить» чуть позже, а вот хрипы уберем резистором R3 (балансировка), остановив воспроизведение и выставив относительно общего провода сигнал на выходе усилителя как можно более близким к нулевому. Виноват во всем входной ток ОУ, который, усилившись, «загоняет» полезный сигнал близко к напряжению питания.

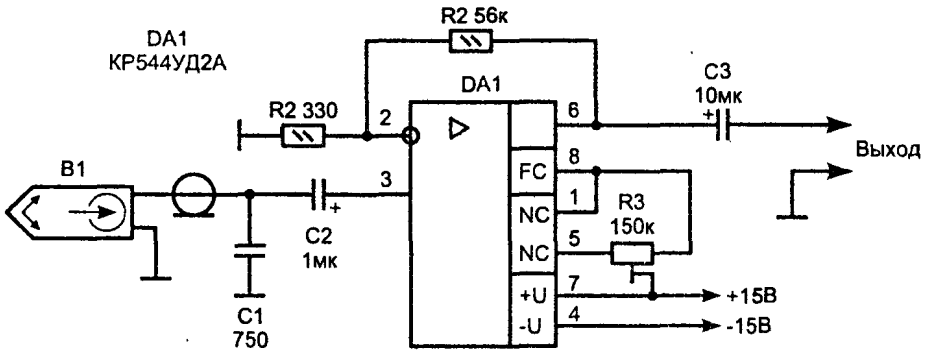


Рис. 13.33. Пробный вариант усилителя для магнитофона

К счастью, нам не нужно усиливать сигналы постоянного тока, поэтому модернизируем схему так, чтобы избавиться от необходимости балансировать выходной сигнал. Соберем ее по рис. 13.35, пока не устанавливая резистор R1 и конденсаторы C2, C4. Частотная характеристика приобретет вид «1»

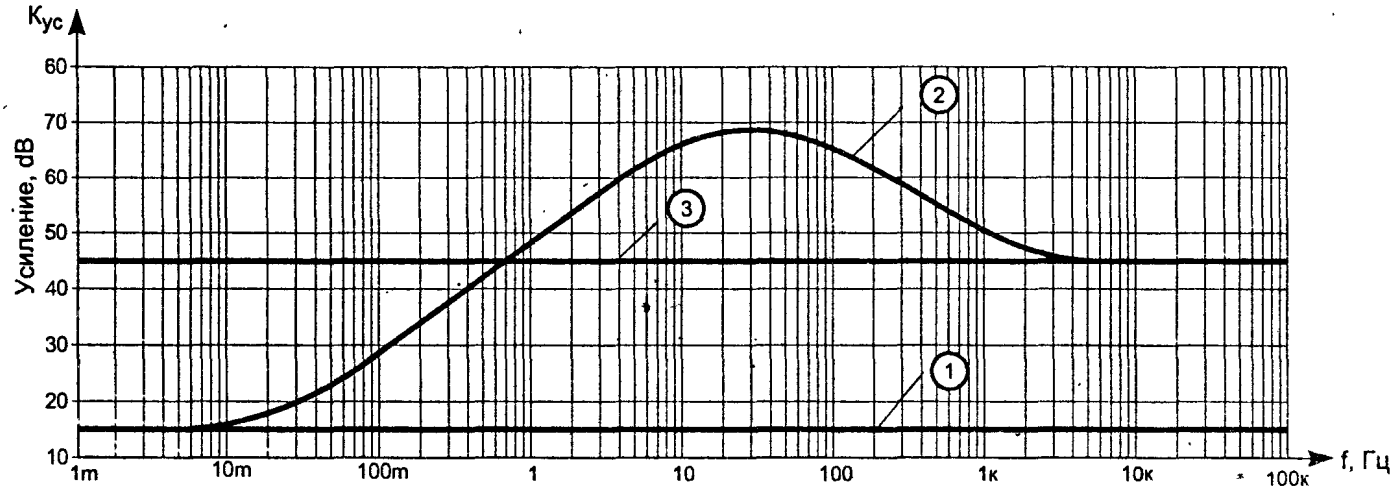


Рис. 13.34. Частотные характеристики канала воспроизведения звука

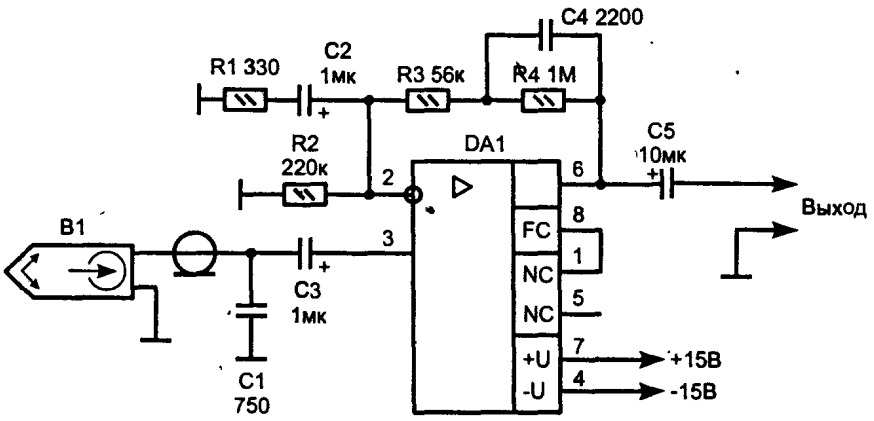


Рис. 13.35. Канал воспроизведения звука с частотной коррекцией

(рис. 13.34). Включим протяжку ленты и прислушаемся к звуку. Хрипы исчезли, но сильно «упала» громкость сигнала. Введем элементы R1 и C2 — громкость заметно подросла, хрипы отсутствуют. Теперь по переменному току коэффициент усиления определяется резисторами R1, R3 и R4, а конденсатор C2 «закорачивает» переменный сигнал и не дает проходить постоянной составляющей. Но звук по-прежнему лишен «басов». Введем конденсатор C4, и частотная характеристика приобретет вид «2». Отметим, что начиная с частоты примерно 100 Гц до частоты 3 кГц происходит «завал» коэффициента усиления и затем его стабилизация. На участке стабилизации коэффициент усиления определяется резисторами R3 и R1. Обратите внимание — в этой области частотные характеристики «2» и «3» сливаются в одну линию! Низкие частоты хуже записываются на магнитную ленту, чем высокие, а значит, чтобы выровнять уровни воспроизведения разных частот, приходится частотную характеристику **корректировать**, то есть вводить **фильтрацию**... Но мы забежали немного вперед.

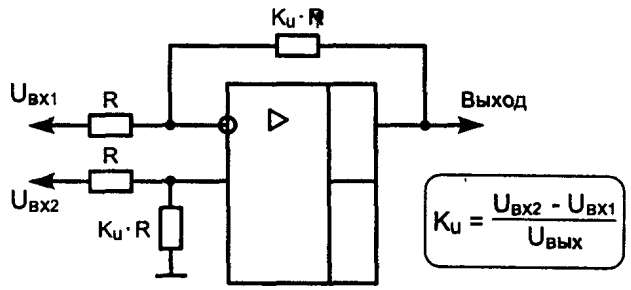


Рис. 13.36. Дифференциальный усилитель

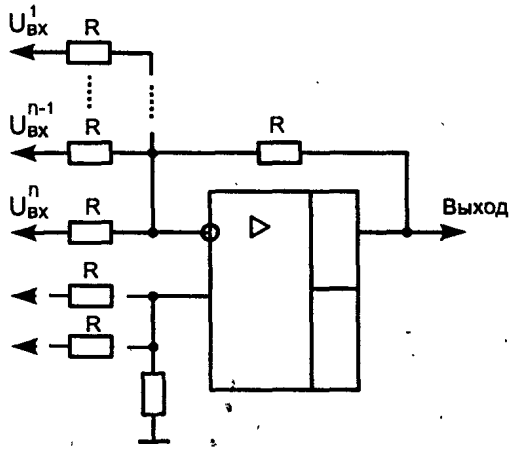


Рис. 13.37. Сумматор сигналов

Вернемся к основным вариантам включения ОУ. Очень интересная схема, реагирующая только на разницу напряжения между входами, называется дифференциальной (рис. 13.36).

Дифференциальный усилитель может потребоваться, когда необходимо усиливать очень слабые сигналы в условиях воздействия сильных помех на длинные соединительные провода на входе. Например, можно подключить между входами усилителя фотодиод и использовать его как световой датчик в режиме усиления фото-ЭДС.

Если необходимо просуммировать несколько сигналов, используется инвертирующий сумматор сигналов (рис. 13.37). Выходное напряжение схемы определяется по формуле:

$$U_{вых} = -(U_{вх1} + U_{вх2} + U_{вх3} + \ldots + U_{вхn}).$$

Неинвертирующий сумматор получится, если входной сигнал подавать на прямой вход, как это показано пунктиром на схеме.

Сумматоры используются в очень широком классе электронных устройств. Их часто можно встретить в микросхемах управления источниками питания, в усилителях низкой частоты, в других устройствах аудиотехники. Давайте и мы познакомимся с сумматором, изготовив простой **микшерский пульт.**

Термин «микширование» означает смешивание нескольких сигналов. В данном случае мы будем смешивать аудиосигналы. Где может пригодиться такое устройство? Допустим, вы вернулись из туристической поездки, где снимали на видеокамеру, запечатлели самые приятные события этого путешествия. Вне всякого сомнения, вам захочется сделать фильм — убрать лишние звуки, наложить приятную музыку, где нужно — усилить записанный естественный звук, а где-то — подчеркнуть музыкальное сопровождение. Такая же задача может возникнуть при озвучивании школьного вечера.

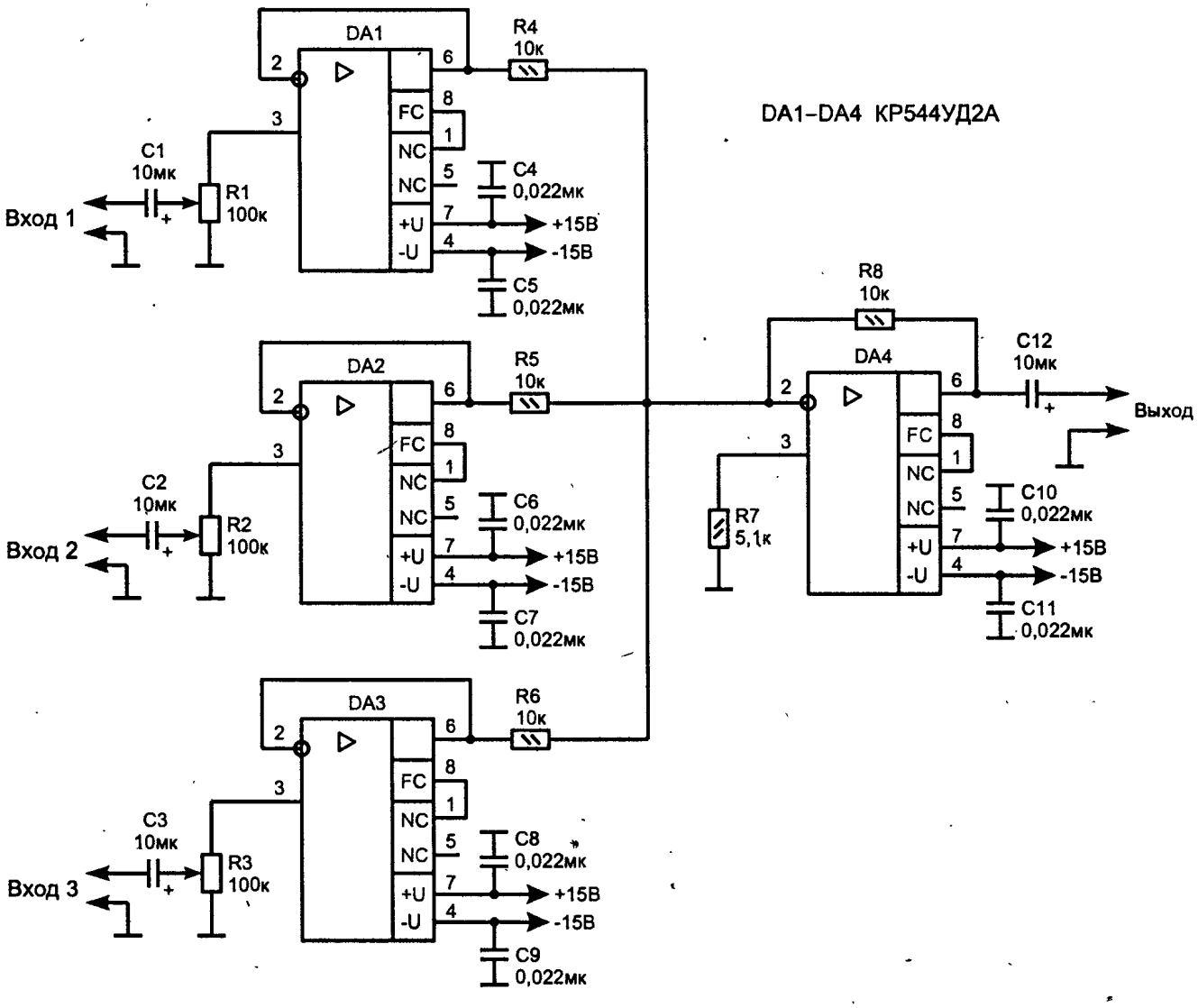


Рис. 13.38. Активный микшерский пульт

Существуют пассивные микшерские пульты, в которых смешивание сигналов осуществляется с помощью резисторных делителей. Эти пульты очень просты в реализации, но ими крайне неудобно пользоваться, так как источники сигналов в таком случае не застрахованы от влияния друг на друга, и это может служить причиной неприятных эффектов. Воспользуемся нашими знаниями, чтобы сделать простой трехканальный микшерский пульт, лишенный этих недостатков. Нам понадобится четыре операционных усилителя типа КР544УД2А, но подойдут и другие. Схема этой конструкции изображена на рис. 13.38. Микросхемы DA1—DA3 включены в режиме повторителей с высоким входным сопротивлением. Они устраняют влияние источников сигналов друг на друга. На микросхеме DA4 собран сумматор с коэффициентом усиления 1. Обратите внимание: конденсаторы С4—С11 выполняют роль блокировочных, то есть устраняют влияние микросхем друг на друга. Устанавливать эти конденсаторы желательно как можно ближе к выводам питания микросхем. В принципе, от них можно и отказаться, но тогда повышается риск получить самовозбуждение какой-либо микросхемы.

Собрать схему можно на макетной плате, используя любые имеющиеся под рукой детали. Если они будут исправными, схема начнет работать сразу. Резисторы R1—R3 лучше использовать движковые, разместив их на одной панели и нанеся на ней деления для удобства пользования микшером. Если появится желание, можно превратить один из повторителей в усилитель и работать со слабыми сигналами. В другом варианте можно сделать резистор R8 переменным и регулировать общий уровень сигнала. Остальные варианты подскажет фантазия и необходимость. ■

Разные фильтры на ОУ

Названные типовые схемы усилителей представляют собой широкополосные варианты, то есть такие, в которых усиливаются (или передаются без усиления) все частоты входного сигнала. Выходной сигнал появляется в них практически мгновенно (одновременно) с появлением входного. Однако очень часто нужно пропускать не все частоты, а только их часть, как это было необходимо нам в случае магнитофонного усилителя. Для этой цели, как нам уже известно, применяются схемы **фильтров:**

- фильтры низкой частоты (ФНЧ) — пропускают только низкие частоты и «обрезают» высокие;
- фильтры высокой частоты (ФВЧ) — имеют возможность пропускать только высокие частоты и «срезают» низкие;
- полосовые фильтры (ПФ) — пропускают только частоты в определенной полосе;
- заграждающие фильтры (ЗФ) — пропускают все частоты, кроме частот определенной полосы.

Простейшие фильтры (ФНЧ и ФВЧ), которые можно построить на ОУ, — аналоги RC цепей, обладающие по сравнению с ними улучшенными характеристиками. Эти аналоги RC цепей при подаче на них импульсного «скачка» напряжения могут сформировать линейно нарастающее или спадающее напряжение.

Схема построения интегратора на ОУ и его частотная характеристика приведены на рис. 13.39. Частота среза определяется параметрами элементов R2 и C. Резистор R не участвует в формировании частотной характеристики. Он может вообще отсутствовать или (что лучше) определяться по формуле:

$$R \approx \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}.$$

Дифференциатор на ОУ и его частотная характеристика изображены на рис. 13.40.

С интегратором мы уже встречались, «оживляя» магнитофон. В схеме рис. 13.35 функцию интегрирующей цепи выполняют элементы R4, C4, отсюда мы и наблюдаем спад частотной характеристики на частотах выше 100 Гц. В реальных схемах интеграторы и дифференциаторы «в чистом виде» используются довольно редко — в основном встречаются варианты, модернизированные под конкретную задачу, дополненные другими элементами.

Теория фильтров на операционных усилителях (так называемых активных фильтров) — это целая наука, которой посвящены отдельные книги. Естественно, мы не сможем рассказать о всех премудростях активных фильтров, так как разработано очень много их видов: фильтры на основе гираторов (эквивалентов индуктивностей), фильтры с управляемыми источниками, фильтры на базе усилителей с общей отрицательной обратной связью, биквадратные фильтры.

Наиболее часто в радиолюбительской практике могут встретиться так называемые фильтры второго порядка на основе структуры Рауха.

Фильтр низких частот второго порядка изображен на рис. 13.41.

Коэффициент усиления фильтра в полосе пропускания определяется по формуле:

$$K_{yc} = -\frac{R_4}{R_1}.$$

Частота среза (в Гц):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_3 R_4 C_2 C_5}}.$$

Регулировать частоту среза можно резистором R3.

Фильтр высоких частот второго порядка показан на рис. 13.42.

Коэффициент усиления фильтра определяется по формуле:

$$K_{yc} = -\frac{C_4}{C_1}.$$

Частота среза (в Гц):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2 R_5 C_1 C_3}}.$$

Частоту среза этого фильтра удобнее всего регулировать резистором R5.

Спад частотных характеристик фильтров более высших порядков происходит круче, чем у простых интеграторов и дифференциаторов. Следовательно, они лучше фильтруют сигналы. Но схемы этих фильтров оказываются сложнее, что еще раз говорит: ничто даром не дается.

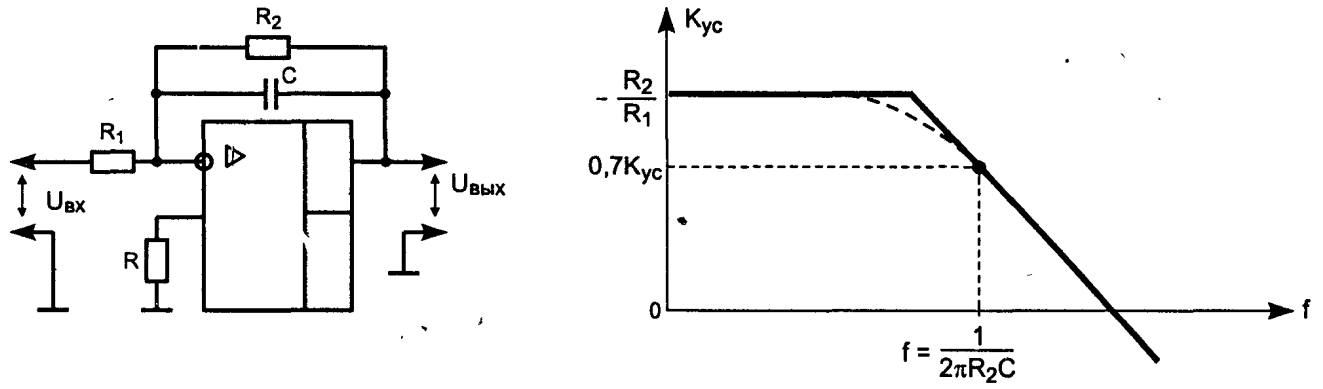


Рис. 13.39. Интегратор на ОУ и его частотная характеристика

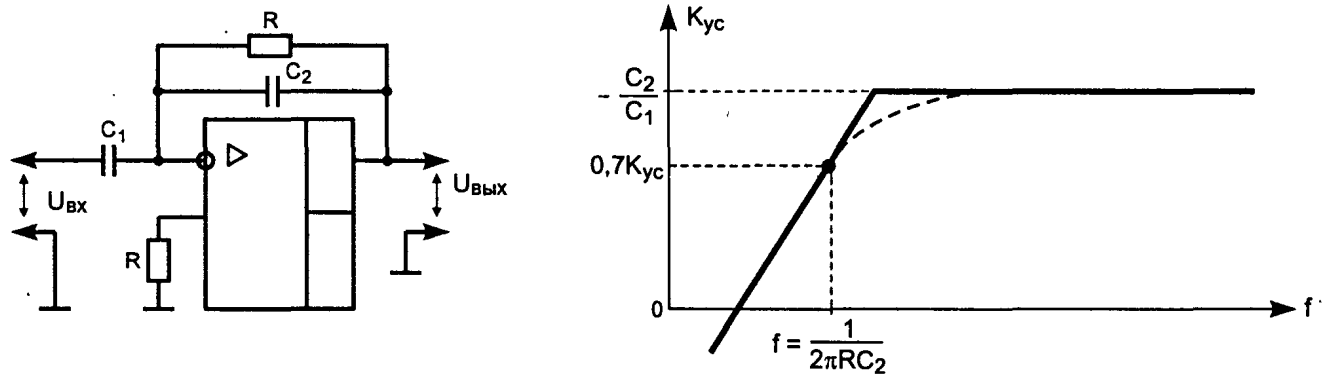


Рис. 13.40. Дифференциатор на ОУ и его частотная характеристика

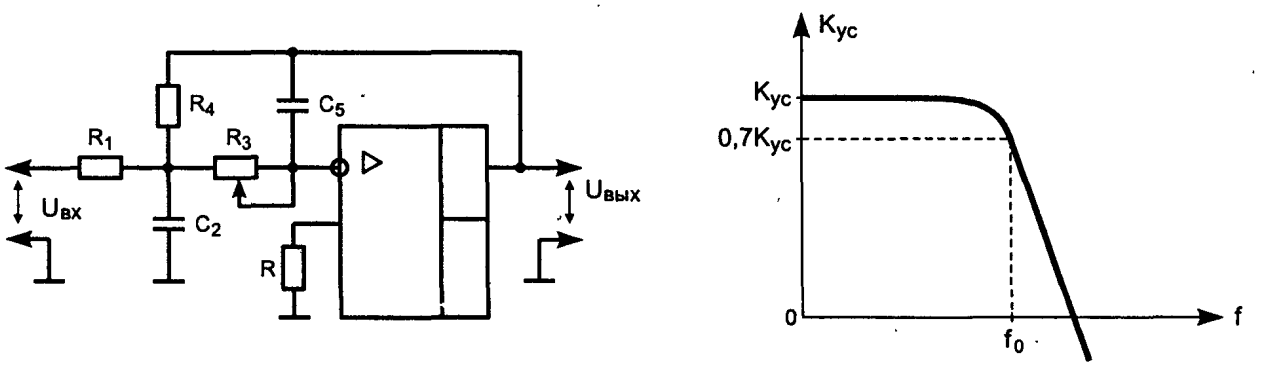


Рис. 13.41. Фильтр низких частот второго порядка и его частотная характеристика

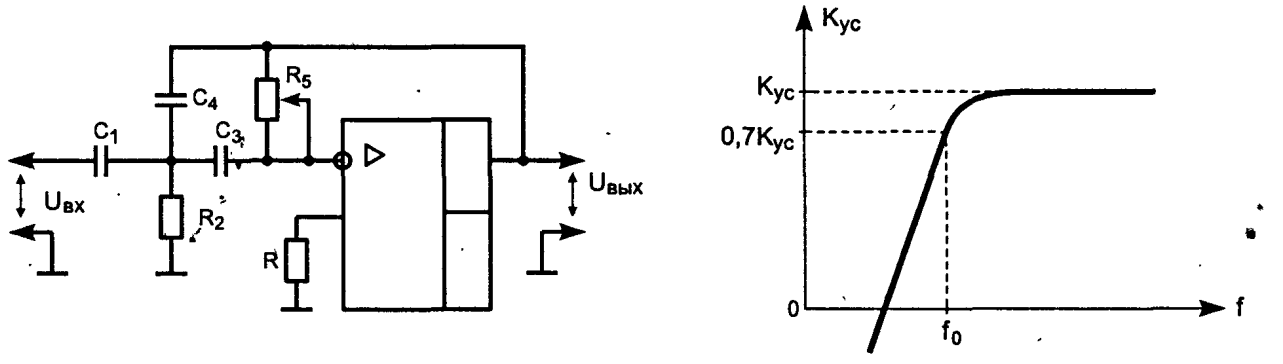


Рис. 13.42. Фильтр высоких частот второго порядка и его частотная характеристика

Чтобы закрепить на практике теоретические знания, мы изготовим очень полезный фильтр низких частот 4-го порядка, включив друг за другом два фильтра второго порядка. Этот фильтр пригодится нам для записи стереофонических радиопередач. Конечно, можно обойтись и без фильтра, подав сигнал с радиоприемника непосредственно на вход магнитофона. Но в таком случае существует опасность появления в фонограмме свиста. Кому понравится такой звук, сопровождаемый непрерывным пищанием...

Откуда берется этот «писк»? Быть может, в магнитофоне завелись мыши? Нет, причина не биологического, а электронного происхождения. Чтобы осуществить передачу стереофонического сигнала по радио, в звуковой сигнал вводят модулирующую частоту 31,25 кГц (отечественный стандарт) или 38 кГц (зарубежный стандарт). Хотя эта частота в радиоприемнике должна быть подавлена фильтрами, иногда, по причине низкого качества фильтрации, она проходит на выход и попадает в тракт магнитофона.

Более-менее приличный магнитофон имеет узел высокочастотного подмагничивания при записи, которое значительно улучшает качество фонограммы. Если модулирующая частота из радиоприемника «встретится» в магнитофоне с сигналом внутреннего генератора на каком-то нелинейном элементе, произойдет умножение частот с выделением разностной составляющей, лежащей в звуковом диапазоне. А уж она-то обязательно запишется на пленку.

Предлагаемый внешний фильтр не даст «просочиться» паразитному сигналу от приемника в магнитофон и в то же время «пропустит» полезный звуковой сигнал. Принципиальная схема одного канала фильтра показана на рис. 13.43, а его частотная характеристика — на рис. 13.44, *б*. Для стереофонического варианта нужно иметь два канала.

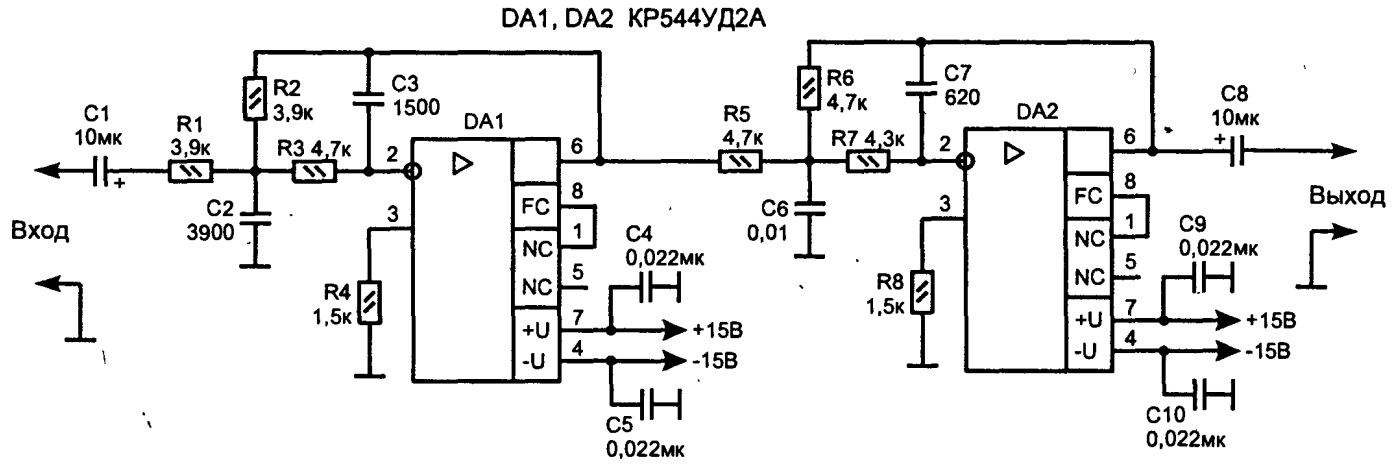


Рис. 13.43. Фильтр низкой частоты 4-го порядка для радиоприемника

Канал фильтра построен на ОУ DA1 и DA2 типа КР544УД2А в стандартном включении. Частотные характеристики каскадов показаны на рис. 13.44, *а* и *в*. Этот фильтр можно собрать на макетной плате, используя подручные детали. Работать он будет сразу после включения и в настройке не нуждается. Частота среза фильтра составляет 15 кГц, то есть не превышает диапазона звуков, слышимых человеческим ухом. Собственно, больше и не нужно.

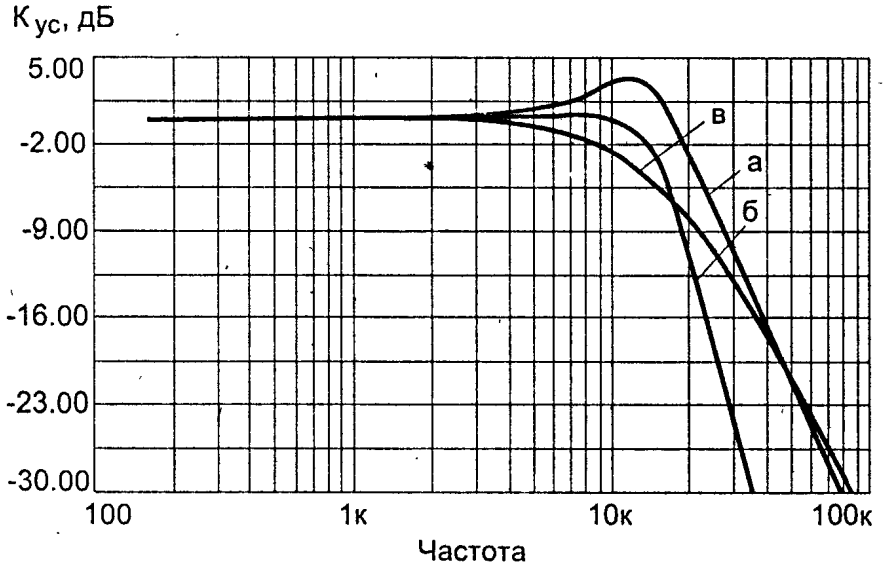


Рис. 13.44. Частотные характеристики фильтра для радиоприемника

Чрезвычайно важную задачу выполняют полосовые фильтры. С радиочастотными полосовыми фильтрами нам довелось иметь дело в главе, посвященной радиотехнике, — это колебательные контуры и фильтры сосредоточенной селекции тракта ПЧ. Часто полосовые фильтры нужны и в области частот, слышимых человеческим ухом. Как показывает опыт, в этом диапазоне конструктивные размеры индуктивных элементов становятся громоздкими, и далеко не всегда пригодными к практическому использованию. Выручают операционные усилители, позволяющие построить полосовой фильтр вообще без применения индуктивностей.

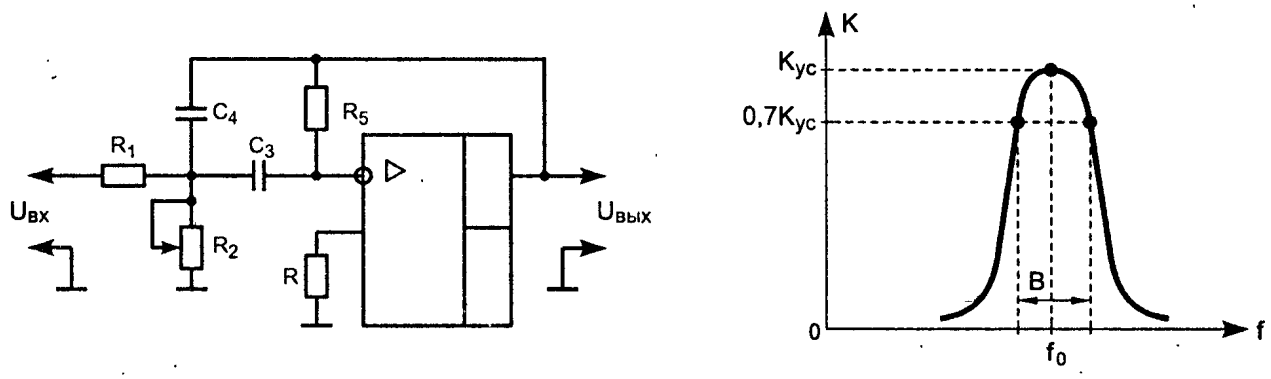


Рис. 13.45. Полосовой фильтр на ОУ и его частотная характеристика

Схема самого простого полосового фильтра на ОУ показана на рис. 13.45. Улавливаете связь между ФНЧ и ФПЧ? Это — тоже фильтр на основе структуры Рауха. Его свойства определяются только расположением резисторов и конденсаторов.

Коэффициент усиления фильтра на резонансе:

$$K_{ус} = -\frac{R_5 C_3}{R_1 (C_3 + C_4)}.$$

Резонансная частота (в Гц):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_1 + R_2}{C_3 C_4 R_1 R_2 R_5}}.$$

Ширина полосы пропускания при $C_3 = C_4 = C$ (в Гц):

$$B = \frac{1}{\pi \cdot R_5 C}.$$

Резонансная частота и полоса пропускания — очень знакомые нам характеристики. Резонансную частоту можно в небольших пределах регулировать резистором R2. К сожалению, этот фильтр обладает рядом существенных недостатков: попытка изменения коэффициента усиления приведет к изменению всех остальных параметров. Кроме того, схема обладает повышенной чувствительностью к технологическому разбросу параметров элементов и не позволяет из-за этого строить узкополосные фильтры, которые иногда очень нужны. И все же в радиолюбительской практике такие простые фильтры встречаются.

Повышенной стабильностью (временной, температурной), низкой чувствительностью к допускам номиналов элементов и независимостью настроек основных параметров обладает **биквадратный фильтр**. Мы приведем только схему биквадратного полосового фильтра, так как он может в наибольшей степени пригодиться радиолюбителю в одиночном варианте. Его схема показана на рис. 13.46, а частотная характеристика повторяет «частотку» полосового фильтра на основе структуры Рауха.

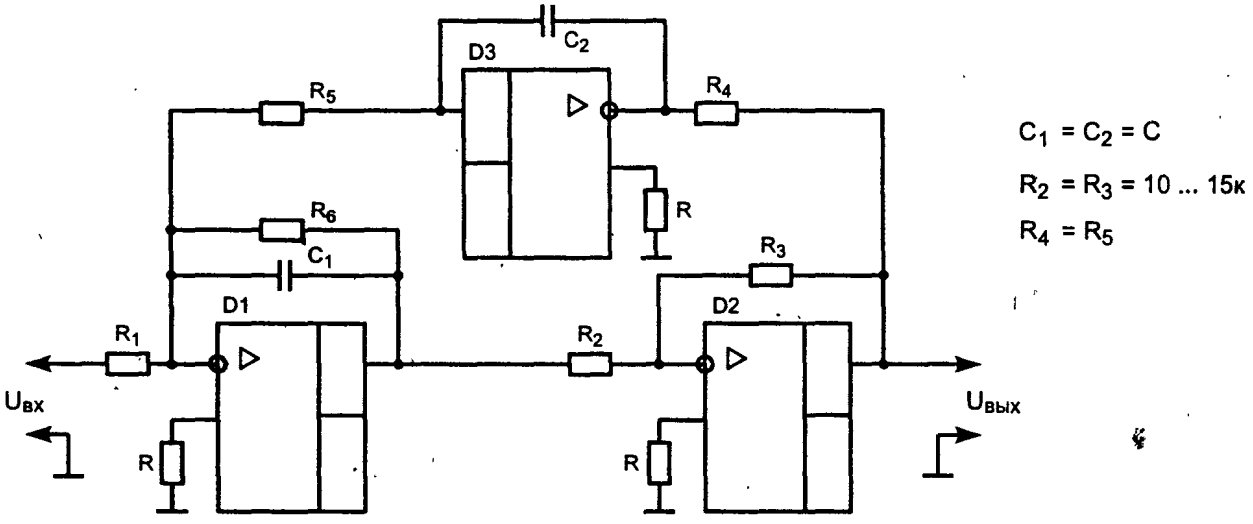


Рис. 13.46. Биквадратный полосовой фильтр

Этот фильтр требует ни много ни мало, а три операционных усилителя, но зато его основные характеристики определяются по простейшим выражениям:

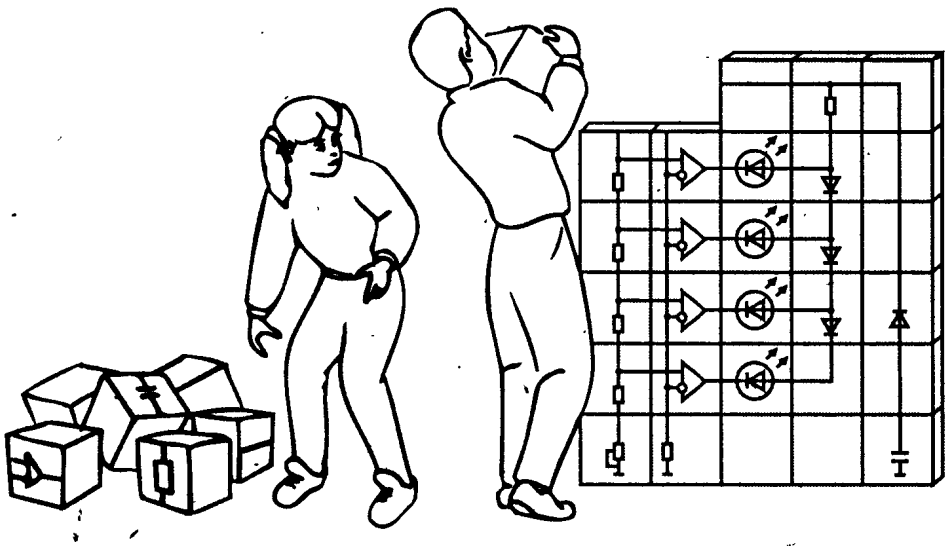
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R_5 C};\quad K_{yc} = \frac{R_6}{R_1};\quad B = \frac{1}{2\pi \cdot R_6 C}.$$

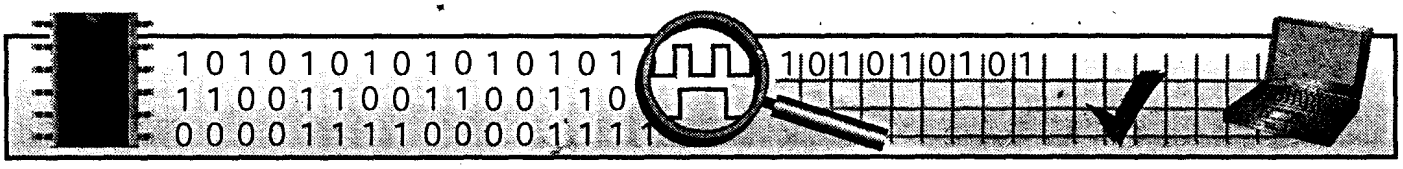
Такой фильтр удобно собирать на микросхемах, в которых размещено в одном корпусе четыре независимых ОУ с общим питанием, например с применением серий К1401, КР1446.

О заграждающих фильтрах мы говорить не будем, поскольку строятся они по специфическим малораспространенным схемам. Основное назначение заграждающих фильтров — постановка «заслона» какой-либо нежелательной частоте сигнала. Например, сильный фон переменного тока частотой 50 Гц можно убрать из сигнала, поступающего на вход усилителя, узкополосным заграждающим фильтром. При необходимости решить такую задачу читатель найдет все необходимые расчетные соотношения и схемы в списке литературы, прилагаемой к этой главе [2—5]. ■

Литература

1. *Шелестов И. П.* Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 5. — М.: СОЛОН-Р, 2002.
2. *Быстров Ю. А. и др.* Электронные цепи и устройства. — СПб.: Энергоатомиздат, 1999.
3. *Марше Ж.* Операционные усилители и их применение. — Л.: Энергия, 1974.
4. *Мячин Ю. А.* 180 аналоговых микросхем. — М.: Радио, 1993.
5. *Шило В. Л.* Линейные интегральные схемы. — М.: Советское радио, 1974.





Глава 14

Логика для цифрового мира

Мы ежедневно сталкиваемся с миром цифровой техники — узнаем время по электронным часам, ведем расчеты на карманных микрокалькуляторах и персональных компьютерах. Цифровые устройства считают пассажиров на пропускных пунктах в метро. Цифровые кассовые аппараты установлены в большинстве магазинов, цифровые кредитные карточки принимают уличные телефоны-автоматы. Цифровые блоки управления встраиваются сегодня во всю бытовую технику: в телевизоры, музыкальные центры, микроволновые печи, пылесосы, стиральные машины, холодильники. Цифровая техника позволяет свести до минимума участие человека в производственных процессах: многие серийные линии выпуска продукции управляются компьютерами.

Основатель корпорации «Intel» **Роберт Нойс** писал о вычислительной технике следующее: «Так же, как промышленная революция дала человеку возможность применять большую физическую силу, чем могли обеспечить его собственные мускулы, цифровая электроника увеличила силу его интеллекта». Давайте же познакомимся с основами цифровых устройств, занявших сегодня в электронике одно из ведущих мест. ■

Немного об истории возникновения цифровой техники

Прогресс — это лучшее, а не только новое.

Лопе де Вега

Вспомним «юморящего» на компьютерные темы Егора Холмогорова и попытаемся понять, когда началась эпоха цифровой микроэлектроники. «Следующей за изобретением транзистора крупной вехой в человеческой истории стало изобретение в 11 году «компьютерной эры» (1958) первой интегральной схемы. На сей раз постарался 34-летний американец и по совместительству — инженер-электротехник компании Texas Instruments **Джек Килби**, решивший зачем-то запихать несколько различных полупроводниковых элементов в один корпус. Работы над реализацией этой уникальной идеи длились несколько лет, и в конце концов Килби удалось достичь положительного результата: он умудрился разместить в одном полупроводниковом блоке схему, состоящую аж из десяти транзисторов. Спустя еще полтора года, когда все это

наконец заработало, он представил результат своего творчества восхищенной публике, проложив для населения Земли еще одну ступеньку в будущее — к появлению первого в мире полупроводникового микропроцессора». А фотография той самой первой микросхемы, в свое время обошедшей множество мировых научно-технических журналов, представлена на лазерном компакт-диске, прилагаемом к этой книге. Она мало напоминает современные образцы, но... лиха беда начало!

В одном старинном детском мультфильме, наверняка известном всем читателям этой книги, анимированная зверушка долго обижалась на такую же зверушку, бормотавшую считалочку. Обида выразилась так: «Он меня сосчитал!». И правда, если перейти от сказки к реальности, человечество всегда интересовали количественные оценки тех или иных процессов. Ведь сосчитать — значит дать определение, оценить, лишить загадочности. Но считать на пальцах или на бумажке не слишком удобно, особенно когда приходится это делать многократно. Поэтому пытливые умы человечества издавна пытались как-то автоматизировать процесс счета. Автомату совершенно неважно, что ему считать: алмазы в каменных пещерах или ворон в небе.

Одна из первых попыток создать автоматический вычислитель относится примерно к 1623 г., когда **Вильгельм Шикард** (1592—1635) создал устройство под названием «вычисляющие часы». Машина Шикарда производила сложение, вычитание и могла работать с семизначными числами; о переполнении сигнализировал звонок. Вычислитель не заинтересовал «широкую общественность», и он вместе с чертежами пропал в сумятице войны, разразившейся тогда в Европе. В 1935 г. чертежи нашлись, но Вторая мировая война опять куда-то их затеряла. Второй раз чертежи обнаружились в 1956 г., и в 1960-м «вычисляющие часы» восстановили, убедившись в полной работоспособности детища Шикарда.

Более удачливым в коммерческом использовании вычислительных механических устройств оказался знаменитый французский ученый **Блез Паскаль** (1623—1662), который в 1644 г. придумал «паскалин» — пятиразрядную арифметическую машину. Современные оценки этой машины свидетельствуют о том, что «паскалин» не мог вычитать числа, и выходил из строя значительно чаще, чем «вычисляющие часы». Однако Паскаль умудрился-таки продать около двух десятков «паскалинов», часть из которых дошла до нашего времени.

Позже, в 1674 г., знаменитый математик **Готфрид Вильгельм фон Лейбниц** (1646—1716) разработал «пошаговый вычислитель» со сложной системой подвижных грузов. Вычислитель Лейбница имел возможность умножать числа при максимально возможной разрядности до 16. Ввод цифр приходилось выполнять при помощи рычажков, затем осуществлялись сложные повороты, требовавшие в каждом конкретном случае отдельных поправок. Непригодная к практическому использованию машина Лейбница была заброшена им на чердак, где ее обнаружили только в 1879 г.

Первый настоящий коммерческий успех в области вычислительной техники в истории закрепился за **Шарлем Ксавье Томасом де Кольмаром** (1785—1870), который в 1820 г. придумал арифмометр — механический прототип современного микрокалькулятора. Арифмометр выполнял четыре действия: сложение, вычитание, умножение и деление. Причем машина отличалась

крайней простотой в работе, из-за чего мгновенно заняла место на столах счетоводов Европы. За арифмометром де Кольмара пока закреплен мировой рекорд по продолжительности продаж вычислительной техники — почти 80 лет коммерческого успеха!

Простые вычислительные устройства, к которым в числе прочих относятся современные микрокалькуляторы, не имеют возможности **программирования** действий. Пользователю надо постоянно нажимать кнопки, чтобы получить результат. Поэтому даже в эпоху механических вычислений задумывались о том, каким образом автоматически производить не только отдельные действия, но задавать и их последовательность. Мы не будем рассказывать о других попытках создания механических машин, так как таких примеров в истории техники предостаточно, упомянем лишь два интересных факта. «Аналитическая машина» **Чарлза Беббиджа** образца 1840 г. имела механическую память на 100 сорокаразрядных чисел и, что самое интересное, в ней впервые была сделана попытка программирования последовательности действий, которая задавалась на специальных **перфокартах**. Машина Беббиджа складывала числа за 3 секунды, а умножала их уже за 3—4 минуты. Другое перфокарточное вычислительное устройство сконструировал в конце XIX в. **Герман Холлерит**. Информация здесь кодировалась отверстиями в специальных бумажных картах и считывалась с помощью электромеханического устройства. Машину Холлерита в 1880 г. использовало Бюро переписи населения США при обработке данных. В 1897 г. Россия купила этот счетный агрегат, проводя собственную перепись населения.

Первая треть XX в. — время вычислительных машин, построенных на основе реле. В 1935 году американская корпорация IBM выпустила на рынок машину IBM-601, умножавшую числа за 1 секунду. Машина, несмотря на ее громоздкость, пользовалась большим успехом у инженеров, ученых и представителей бизнеса. Компания продала более полутора тысяч экземпляров этой модели. А спустя 4 года, в 1939-м, специалисты вездесущей Bell Labs создали первый калькулятор с кнопочной клавиатурой. Этот агрегат содержал около 450 реле, три кнопочные клавиатуры могли быть установлены в разных комнатах, наподобие современных систем «клиент-сервер», однако во время сеанса счета использовалась только одна клавиатура — остальные отключались.

Вторая мировая война «подстегнула» работы по созданию мощной вычислительной техники, и уже в 1943 году ученый **Говард Айкен** (1900—1973), специалист компании IBM, построил первую электронную программируемую машину «Harvard Mark I». Пятнадцатиметровое сооружение весило 5 тонн и состояло из 750 тысяч деталей! Вывод результатов осуществлялся на печатающее устройство. Операция сложения занимала в этой машине 0,3 секунды, а умножала машина за 1 секунду.

Послевоенное время — время огромных вычислительных машин, построенных на электронных лампах. В ноябре 1945 г. в США завершено создание машины «ENIAC» (рис. 14.1). Отпущенный на ее создание бюджет разработчики превысили втрое, но все же создали работоспособную машину, не имеющую ни одной механической детали в электрической схеме. ENIAC включал в себя 17468 электронных ламп, 80000 других электронных компонентов, весил более 30 тонн. Эта машина могла работать с десятиразрядными числами со знаком, а

ввод программы осуществлялся через панель переключателей и занимал не меньше недели. ENIAC использовали при расчете военно-ракетной техники, обработке метеорологических сводок, расчетов в области атомной энергетики, изучения космических излучений.

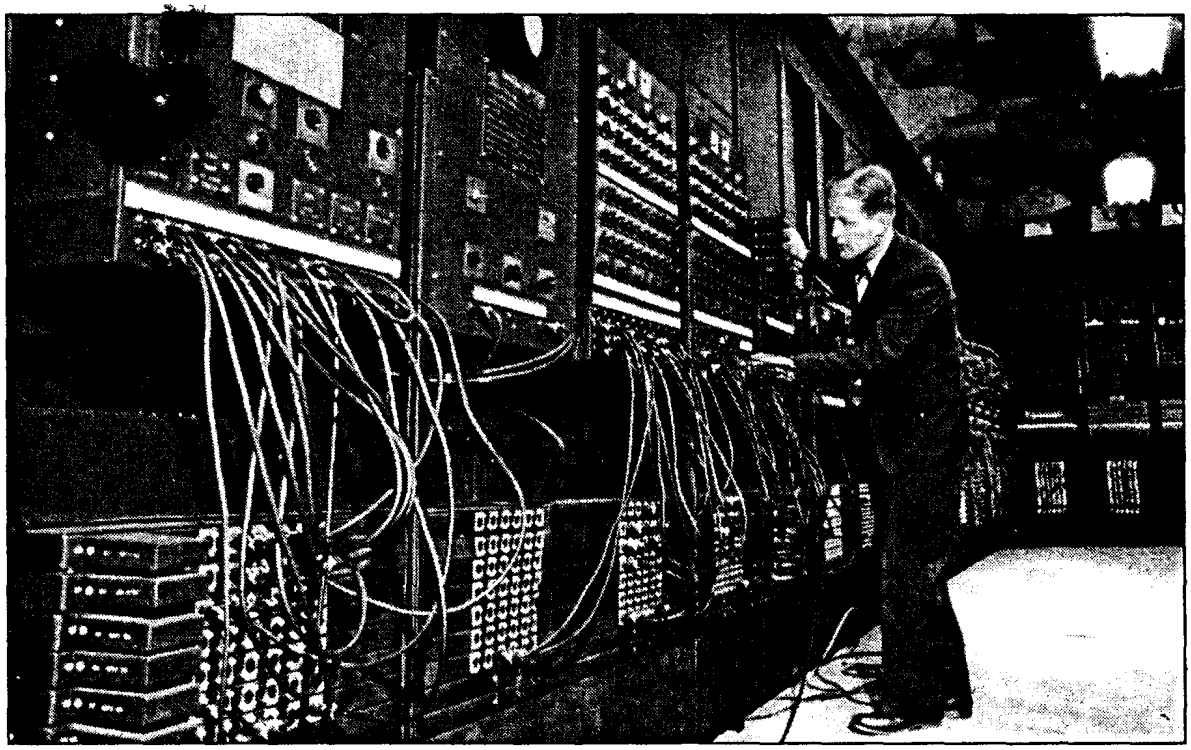


Рис. 14.1. Вычислительная машина ENIAC

Недолго длился век ламповых компьютеров. С изобретением транзисторов происходит революция в вычислительной технике. В 1957 г. фирма IBM создает компьютер «переходного периода» RAMAC, в котором использовались и электронные лампы, и транзисторы. Этот компьютер, хотя стоил по тем временам очень дорого, все же начал занимать места не только в ведущих университетах, но и в офисах крупных компаний. Примерно в это же время в Советском Союзе ведутся работы по созданию компьютеров для военных и гражданских целей. В начале 60-х гг. XX в. появляются ЭВМ серий «М», «Урал», «Минск», «Днепр». Верхом отечественной инженерной мысли считается машина «БЭСМ-6» (Большая Электронная Счетная Машина), состоявшая из 40 тысяч транзисторов и производившая около 1 миллиона операций в секунду (есть фото на CD).

Что происходит дальше? А дальше лидерство в вычислительной технике захватывают американские специалисты, и положение остается таковым по настоящее время. В 1959 году IBM создает первый персональный универсальный транзисторный компьютер с производительностью 229 тысяч операций в секунду. Эти компьютеры использовались в системе раннего предупреждения о нападении баллистических ракет на США.

Привычный на сегодняшний день внешний вид компьютера родился в 1960 году, когда компания DEC выпустила на рынок PDP-1 с монитором и клавиатурой. Размером персональный компьютер был с хороший холодильник, выполнял операции с 18-разрядными числами и стоил порядка 150 тысяч долларов, но тем не менее покупателей оказалось много.

К концу 1960 г. слово «компьютер» стало одним из наиболее модных. Вот как распределялось количество вычислительных машин во всем мире на тот момент: США — 3612, ФРГ — 172, Франция — 60, Япония — 37. Фирма IBM стала самым успешным производителем компьютерной техники: ее годовой оборот в 1957-м превысил 1 млрд долларов!

Сегодняшний рынок персональных компьютеров можно назвать рынком с достаточной степенью условности: огромная доля основных компонентов приходится на фирму Intel, которая производит **микропроцессоры** — сердце современных компьютеров. О микропроцессорах и их младших братьях — **микроконтроллерах** — мы поговорим в завершении этой главы, а сейчас наш рассказ о том, почему фирма Intel заняла ведущее место в области производства персональных компьютеров.

В 1965 г., работая над статьей для научного журнала, сотрудник компании Fairchild Semiconductor, специалист в области микроэлектроники, **Гордон Мур** обнаружил, что с момента начала производства в 1959 г. интегральных микросхем их сложность — насыщенность элементами — ежегодно возрастала почти вдвое. Как заметил Мур, уже в 1975 г. микросхемы смогут включать до 65 тысяч транзисторов, став «вычислительной машиной в одном кристалле». Судьба пассивного наблюдателя этого процесса не устраивала Мура, и он вместе со своими коллегами **Робертом Нойсом** и **Эндрю Гроувом** в 1968 г. основал компанию «N.M.Electronics», которая чуть позже была переименована в «Intel corporation».

В 1969 году молодая компания получила от одной ныне не существующей японской фирмы выгодный заказ на разработку набора микросхем для микрокалькулятора. В процессе разработки инженеры Intel решили объединить все микросхемы комплекта в один корпус, создать универсальную вычислительную микросхему — микропроцессор. В ноябре 1971 г. компания уже выпускала первые в мире процессоры Intel 4004, выполнявшие 60 тысяч операций в секунду. Потом был не нашедший поддержки у потребителей процессор Intel 8008. Но настоящий бум вызвал процессор Intel 8080, выпускавшийся долгие годы даже у нас в России под маркой К580ВМ80. На основе этого процессора в декабре 1975 г. был выпущен первый малогабаритный персональный компьютер «MITS Altair 8800» (есть фото на CD). Компьютер «Altair» знаменит еще и тем, что интерпретатор языка программирования для него писали **Бил Гейтс** и **Пол Аллен**, основатели фирмы Microsoft.

Сегодня Intel — это компания, производящая процессоры Pentium с фантастическими возможностями, выпускающая микросхемы памяти, микроконтроллеры, наборы микросхем для персональных ЭВМ. Одна из последних разработок Intel на момент написания этой книги — процессор Intel Itanium. Компьютер, созданный на основе этого процессора, способен хранить количество информации, по объемам сравнимой с одной из величайших библиотек мира — Библиотекой конгресса США. Этот процессор может пропустить через себя за минуту объем информации, равный одному этажу этой библиотеки... Доход фирмы Intel ежегодно составляет 12,1 млрд долларов!

Компьютерная техника преподнесет нам еще немало сюрпризов — приятных и не очень. Ее история только начинается. Ну а мы познакомимся с ее основами. ■

Логические уровни, или Как можно передать информацию

Первый курс. Вопрос на экзамене:
– Сколько байт в килобайте?
– Тысяча!!!
Пятый курс:
– Сколько метров в километре?
– 1024!!!

Студенческий анекдот

Любое событие в окружающем нас мире содержит информацию. Электрические сигналы — это один из самых удобных способов ее представления и передачи.

В предыдущей главе мы имели дело с аналоговыми сигналами и совершенно четко представляем себе, что это такое, как их получить, как усилить и для чего использовать. Цифровой сигнал — особый вид электрического сигнала, который нет необходимости характеризовать конкретным значением напряжения или тока... Важен только сам факт наличия или отсутствия его, причем заранее договоримся, что присутствие сигнала будет соответствовать цифре логической 1, а его отсутствие — логический 0. Но давайте не будем забегать вперед, а научимся получать цифровые сигналы.

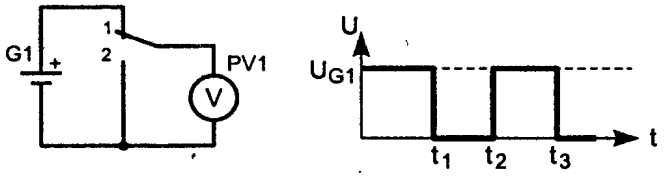


Рис. 14.2. Простейший способ получения цифрового сигнала

Обратим внимание на рис. 14.2. Нам понадобится источник питания G с напряжением U_G, переключатель SA1 и вольтметр PV1, с помощью которого мы будем регистрировать наличие сигнала. Величина напряжения, создаваемого источником G, в данном случае **совершенно не важна.** Собрав простейшую схему, установим вначале переключатель SA1 в положение «1». Очевидно, что вольтметр PV1 покажет напряжение U_G. Назовем это состояние **высоким** уровнем цифрового сигнала. Теперь, в момент времени t_1, переведем переключатель в положение «2». Прибор покажет **перепад** напряжения к нулю и затем нулевое напряжение. Это состояние назовем **низким** уровнем цифрового сигнала. Вновь, в момент времени t_2, переведем ключ в положение «1». Прибор покажет перепад напряжения к высокому уровню и затем — напряжение высокого уровня. Дальше, коммутируя переключатель SA1 из одного положения в другое, получим серию прямоугольных **импульсов**. Вот, пожалуй, и все компоненты цифрового сигнала. Назовем их еще раз:

- высокий уровень сигнала (лог. 1, или иногда обозначают латинской буквой H — high);
- низкий уровень сигнала (лог. 0, или L — low);
- перепад из высокого уровня сигнала в низкий;
- перепад из низкого уровня сигнала в высокий;
- прямоугольный импульс сигнала.

Не правда ли, набор более чем скудный. Но даже такие сложнейшие цифровые устройства, как персональные компьютеры, как-то умудряются обходиться такими скромными средствами и при этом выполнять сложнейшие математические расчеты. Как работать с этими нехитрыми «инструментами»? Пора договориться о некоторых правилах и в дальнейшем придерживаться их неукоснительно. Вначале разберемся с высоким и низким уровнями сигнала, называемыми **статическими состояниями цифрового сигнала.**

Еще в первом классе школы, а может и раньше, вы научились складывать, вычитать, делить, умножать числа, представленные **в десятичной системе счисления**, в которой возможно пользоваться числами от 0 до 10. Естественно, с тех пор вы не представляете иной возможности для математических расчетов. Но, оказывается, существуют и другие системы счисления. Цифровая техника обходится **двоичной системой**, в которой нет иных знаков, кроме 0 и 1. «Нолик» представляется низким уровнем сигнала, а «единичка» — высоким. Числа, представленные в двоичной системе, то есть набором нулей и единиц, тоже можно по определенным правилам складывать, вычитать, делить, умножать, извлекать из них корни, менять знак и использовать многое другое из арсенала математики. В обыденной жизни мы привыкли к десятичным числам, но цифровая техника ими пользоваться не может, поэтому необходимо вначале перевести число из десятичной системы в двоичную, потом цифровой прибор автоматически совершит необходимые операции и затем выполнит обратное преобразование результата — из двоичной формы в десятичную, удобную для восприятия человеком.

Чтобы понять принцип работы цифровых устройств, вначале нужно научиться переводить числа из одной системы счисления в другую. Чем мы сейчас и займемся.

Помните, как устроено любое десятичное число? К примеру, 10248? Вот так:

$$10248 = 1 \cdot 10000 + 0 \cdot 1000 + 2 \cdot 100 + 4 \cdot 10 + 8 \cdot 1.$$

Это число имеет пять **разрядов**, значение каждого из которых умножается на **вес разряда**, а в сумме число имеет знакомую всем форму. Вес разряда — это числа 10000, 1000, 100 и так далее. «Вес» характеризует вклад того или иного разряда числа в его суммарное значение.

Существует строгая математическая формула, которая переводит число из любой системы счисления в десятичную:

$$Z = A_{i-1} \cdot N^{i-1} + A_{i-2} \cdot N^{i-2} + \ldots + A_1 \cdot N^1 + A_0 \cdot N^0,$$

где Z — число, представленное в десятичной системе счисления;

i — число разрядов числа, представленного в любой системе счисления;

A — коэффициент при весе разряда;

N — основание системы счисления.

Основание системы счисления, возводимое в степень согласно приведенной формуле, и дает вес разряда. Что такое **основание системы счисления?** Для десятичной системы $N = 10$, для двоичной $N = 2$.

Представим число 10248 в двоичной системе. Мы получим следующую запись:

$$10248_{10} = 10100000001000_2.$$

Нижний индекс — «10» и «2», как вы уже наверняка догадались, обозначает основание системы счисления. Проверим, что мы не ошиблись:

$$10248 = 1 \cdot 8192 + 0 \cdot 4096 + 1 \cdot 2048 + 0 \cdot 1024 + 0 \cdot 512 + 0 \cdot 256 +$$
$$+ 0 \cdot 128 + 0 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1.$$

Убедились? Сделаем очень важный для нас вывод: представленное число в десятичной системе записывается с помощью пяти разрядов, а в двоичной системе оно имеет уже 14 разрядов. Увеличение разрядности, или, как говорят специалисты, **разрядной сетки**, является платой за уменьшение основания системы счисления. Поэтому запомните: разрядная сетка определяет возможности тех или иных цифровых приборов в части оперирования числами. Максимальное число, которое можно представить в жестко заданной разрядной сетке, определяется так:

$$Z_{max} = N^i - 1.$$

Например, максимальное число (Z_{max}) в десятичной системе счисления с четырехразрядной сеткой ($i = 4$) — это 9999, а в двоичной системе с той же сеткой — только 15.

Преобразовав десятичное число в набор нулей и единиц, его можно передать по линии связи, сохранить, подвергнуть математическим операциям. Все это проделает электронная схема, построенная по определенным правилам, о которых мы поговорим позже.

Теперь вы знаете, как преобразовать двоичные числа в десятичные, но мы должны овладеть и обратной процедурой — превращением десятичного числа в двоичное. Если в описанной выше процедуре используются операции умножения и последующего сложения, то здесь все построено на делении и последующем вычитании.

Рассмотрим преобразование нашего числа 10248 в двоичное. Схема, отражающая эту процедуру, показана на рис. 14.3. Вначале число делим на 2, получая частное 5124 и остаток от деления 0, который становится значением разряда с весом 1. Последовательно совершая операции деления, записываем остатки во все разряды.

Разрядная сетка с определенными количествами разрядов в двоичной системе счисления имеет свои названия, которые необходимо запомнить. Одиночная разрядная сетка (один разряд — самая малая единица измерения информации) имеет название — **бит**. Бит (bit) — происходит от сокращения английского названия binary digit (двоичная цифра). Четыре бита составляют **тетраду**. Две тетрады — **байт**, два байта — **слово**, два слова — **двойное слово.** Наиболее часто в цифровой технике встречаются байты (8 бит) и слова (16 бит). Еще в цифровой технике вы встретитесь с такими устоявшимися понятиями, как **килобит, килобайт**, **мегабайт**. Читатель вполне резонно может предположить, что килобайт — это тысяча байт, а мегабайт — тысяча килобайт. И будет совершенно

прав! Но есть также и Кбайт — это 2^{10} байт, то есть 1024 байта. Соответственно Мбайт — 1024 Кбайт, или 1048576 байт. Путаница, однако...

Почему так вышло, что привычные приставки, использующиеся в десятичной системе счисления, в двоичной приобрели несколько иной смысл? Дело в том, что на заре развития цифровой техники для обозначения 2^{10} байт был выбрана буква «К» — Кбайт, и чуть позже к ней добавили десятичное «кило», хотя, добавляя эту приставку, никто не обращал внимания на двусмысленность ситуации. Затем появились приставки М, Г... Впрочем, если бы ситуация ограничилась только этой несуразицей, ничего страшного бы не произошло. Но в ходу появились и настоящие «килобайты», «мегабайты» и «гигабайты», в которых, например, приставка «кило» обозначает ровно 1000 байт. Кто стал использовать эту чисто «десятичную» терминологию? Производители и продавцы компьютерных комплектующих — в рекламных целях. Например, покупатель приобрел для компьютера жесткий диск размером 50 Гб — в «десятичных» единицах измерения. Реально — в двоичных — его объем составит 46,5 ГБ. Из-за путаницы в терминологии «обвес» составит 3,5 двоичного ГБ — порядочную цифру, близкую к 10%. С точки зрения рекламиста, цифра 50 смотрится гораздо весомее, чем 46,5. Субъективно эти 46,5 тяготеют более к 40, нежели чем к 50.

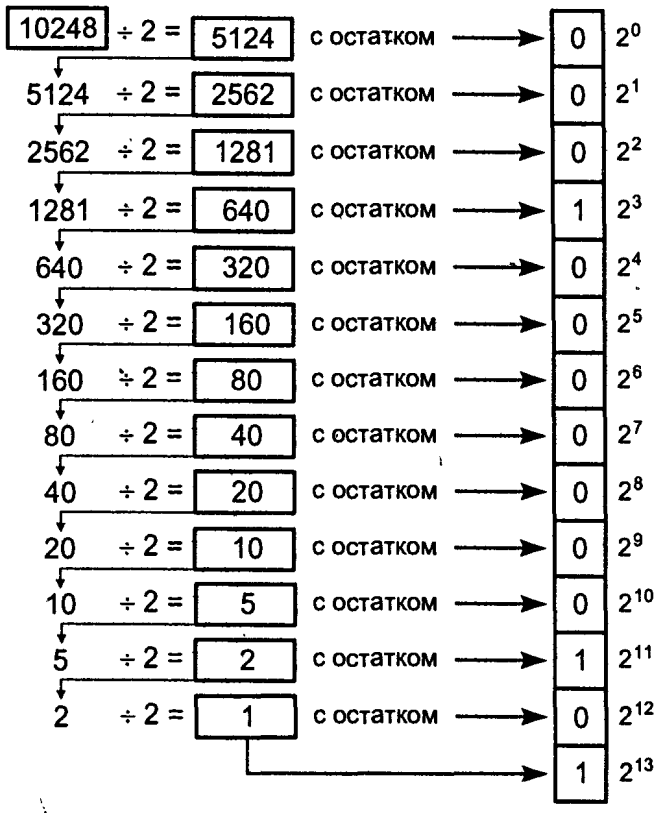


Рис. 14.3. Пояснение процесса преобразования десятичного числа в двоичное

Чтобы навести порядок с терминологией, Международная электротехническая комиссия (МЭК) в марте 1999 г. предложила для двоичных производных величин новые названия — **кибибайт**, **мебибайт**, **гибибайт**, оставив за десятичными производными приставки «кило», «мега», «гига». Приставка **би-** происходит от слова «**бинарный**» — «двоичный». В ноябре 2000 года эти предложения были официально закреплены в Международном стандарте IEC 60027-2 (2000-II), касающемся наименований и обозначений физических величин... Но это нововведение приживается плохо — исключительно из-за неблагозвучности и трудности произношения новых величин. Как будут развиваться события дальше, покажет время. В табл. 14.1 мы приводим всю необходимую терминологию.

Поговорим теперь о **шестнадцатиричной** системе счисления, которая тоже довольно часто используется в цифровой технике. Основание этой системы — 16, а в качестве символов используются цифры от 0 до 9 и буквы A, B, C, D, E, F (буквами указываются числа 10, 11, 12, 13, 14, 15 соответственно). Эта систе-

Таблица 14.1. Международный стандарт сокращенных обозначений

Название	Сокращенное название	Значение	Стандарт МЭК
бит	б	0 или 1	
килобит	кбит, кб	1000 бит	
двоичный килобит	Кбит, Кб	1024 бит	кибибит
мегабит	Мб	1000 килобит	
гигабит	Гб	1000 мегабит	
килобайт	кБ	1000 байт	
двоичный килобайт	КБ, Кбайт	1024 байт	кибибайт
мегабайт	МБ	1000 килобайт	
двоичный мегабайт	МБ, Мбайт	1024 килобайт	мебибайт
гигабайт	ГБ	1000 мегабайт	
двоичный гигабайт	ГБ, Гбайт	1024 мегабайт	гибибайт

ма удобна для наглядного представления больших объемов двоичных чисел. Интересные свойства шестнадцатиричных чисел связаны с тем, что тетрадой бит можно задать эти самые 16 чисел. Поэтому даже слово, в двоичном виде записывающееся в виде цепочки из 16 бит, в шестнадцатиричной системе предстает в виде 4-х знаков. В табл. 14.2 показано соответствие трех систем счисления, встречающихся в цифровой технике.

Мы уже говорили о том, как различать числа с разными основаниями. Запомните также, что числа 10_{10}, 10_2 и 10_{16} не равны друг другу! Преобразовывать шестнадцатиричные числа в десятичные тоже очень просто — достаточно вычислить «вес» разрядов и просуммировать по всем разрядам полученные произведения.

Основное преимущество шестнадцатиричной системы заключается в том, что для представления чисел и операций с ними требуется меньшее количество позиций значащих цифр, однако эта система более удобна для работы с двоичной арифметикой, чем десятичная. Показать все преимущества работы с шестнадцатиричным представлением чисел простым рассказом о достоинствах и недостатках довольно сложно. Когда читатель столкнется с двоичной арифметикой в практических конструкциях, он на собственном опыте все поймет. Пока же рекомендуем просто запомнить о такой возможности.

А теперь пусть читатель задаст себе вопрос: умеет ли он складывать и вычитать десятичные числа «в столбик»? Ну конечно же умеет — эти знания приобретены в начальной школе! Но как работать с двоичными числами при необходимости сложить их или вычесть одно из другого? Точно так же, по тем же правилам, приведенным на рис. 14.4 для операций сложения и вычитания. Действия по подпунктам (*а*), (*б*) и (*в*) на обоих рисунках понятны и дополнительных комментариев не требуют. А вот действие (*г*) имеет особенности. В слу-

Таблица 14.2. Представление чисел в разных системах

Десятичное число	Двоичное число	Шестнадцатиричное число	Десятичное число	Двоичное число	Шестнадцатиричное число
0	00000	0	12	01100	C
1	00001	1	13	01101	D
2	00010	2	14	01110	E
3	00011	3	15	01111	F
4	00100	4	16	10000	10
5	00101	5	17	10001	11
6	00110	6	18	10010	12
7	00111	7	19	10011	13
8	01000	8	20	10100	14
9	01001	9	21	10101	15
10	01010	A	22	10110	16
11	01011	B			

Рис. 14.4. Арифметические операции с двоичными числами

чае сложения происходит **перенос** единицы в следующий по старшинству разряд, а в случае вычитания — **заем** из старшего разряда.

На рис. 14.5 приведены примеры сложения и вычитания двух 8-разрядных чисел. Сложность понимания обычно возникает при выполнении вычитания, поэтому поясним рис. 14.5, *б*. Разряды с весами 1, 2 и 4 просты для выполне-

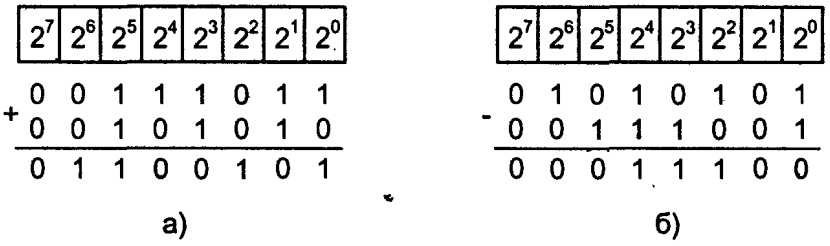


Рис. 14.5. Пример действия арифметических операций над двумя 8-разрядными числами: *а* — сложения; *б* — вычитания

ния вычитания. Но в колонке с весом разряда 8 осуществляется вычитание 1 из 0. «Единичка» занимается из разряда с весом 16, и разность дает значение 1. После заема в разряде с весом 16 придется вычесть 1 из 0, поэтому за новым заемом отправляемся в разряд с весом 32. Увы — в том разряде стоит 0, поэтому занимаем из разряда с весом 64. В колонке с весом 32 имеем 1 — 1 = 0. И так далее.

Вас не слишком утомила двоичная арифметика? Мы рассказываем лишь о ее основах, о том, что необходимо узнать в первую очередь. В дальнейшем, уже за рамками этой книги, если читатель заинтересуется цифровой техникой всерьез, ему предстоит разобраться в операциях двоичного умножения и деления, изучить **арифметику с плавающей запятой**, научиться работе с числами со знаком, освоить буквенно-цифровые коды и еще многое другое не менее интересное. А пока познакомимся с простейшими «кирпичиками» цифровой техники, из которых, как из детского конструктора, потом можно будет собирать полезные схемы. ■

Обозначения и маркировка цифровых микросхем

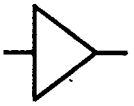
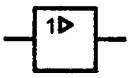
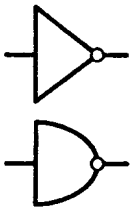
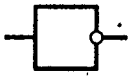
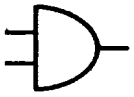
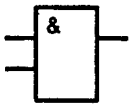
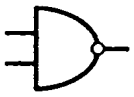
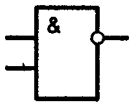
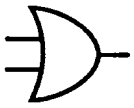
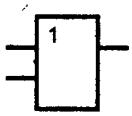
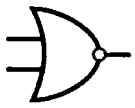
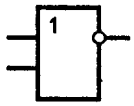
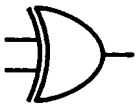
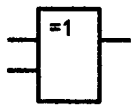
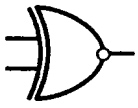
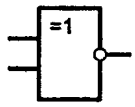
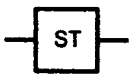
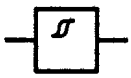
Ум — не что иное, как хорошо
организованная система знаний.

Константин Ушинский

Начнем с обозначений. Сам логический элемент, или микросхема, состоящая из них, показывается на электрической принципиальной схеме в виде прямоугольника, внутри которого вверху ставится условный знак (символ или буквы), говорящий о назначении микросхемы (виды условных знаков стандартизованы) — это позволяет быстрее понять принцип работы устройства любому специалисту в области электроники, а не только автору схемы. По мере получения опыта вы их легко запомните.

Часто используемые простые элементы приведены в табл. 14.3, там же указаны названия логических операций, которые они выполняют. Особое внимание читателя следует обратить на графы «mil spec» — зарубежный стандарт и «ГОСТ, МЭК» — отечественный стандарт, рекомендуемый Международной Электротехнической Комиссией (МЭК). Начертания элементов в зарубежных и отечественных схемах, как правило, отличаются. Установить соответствие поможет приводимая таблица.

Таблица 14.3. Соответствие вида на электрической схеме

Изображение на схеме		Тип логического элемента
MILSPEC	ГОСТ, МЭК	
		Повторитель сигнала
		НЕ (инвертор)
		И
		И-НЕ
		ИЛИ
		ИЛИ-НЕ
		исключающее ИЛИ
		исключающее ИЛИ-НЕ
		Триггер Шмитта

По роду выполняемых действий цифровые микросхемы делятся на много типов: логические элементы, триггеры, счетчики, запоминающие устройства и др. Особый класс занимают аналого-цифровые и цифроаналоговые микросхемы, которые осуществляют преобразование аналоговых сигналов в цифровые и наоборот.

Цифровые микросхемы выпускают **сериями.** Серия микросхем изготавливается по единой технологии, с единой конструкцией корпуса. Наиболее желательным при разработке цифровых устройств считается использование микросхем одной серии, поскольку они лучше всего сопрягаются друг с другом по питающим напряжениям, уровням сигналов и быстродействию.

Маркировка отечественных микросхем

Отечественная система маркировки состоит из пяти элементов.

Первый элемент — характеристика области применения, материала и типа корпуса. Буква К говорит о возможности использования микросхемы в широком спектре аппаратуры. Отсутствие буквы К свидетельствует о возможности использования микросхемы в специальной технике, подвергаемой повышенным значениям вибрации, ударам, холоду, теплу, влажности, радиации. Буква Э свидетельствует об экспортном исполнении. Буква М — керамический, металлокерамический или стеклокерамический корпус.

Второй элемент — цифра, характеризующая микросхему по конструктивно-технологическому признаку:

Цифра	Характеристика
1, 5, 6, 7	полупроводниковые
2, 4, 8	гибридные
3	прочие (пленочные, керамические, вакуумные и др.)

Третий элемент — две цифры, указывающие номер разработки данной серии.

Четвертый элемент — две буквы, обозначающие функциональную подгруппу и вид микросхемы. Эта информация приведена в таблице:

Подгруппа, вид микросхемы	Обозн.	Подгруппа, вид микросхемы	Обозн.
Преобразователи уровня	ПУ	JK-триггеры	ТВ
Цифровые делители частоты	ПЦ	Комбинированные триггеры	ТК
Цифро-аналоговые преобразователи	ПА	Прочие триггеры	ТП
Аналогоцифровые преобразователи	ПВ	Регистры	ИР
Преобразователи «код-код»	ПР	Сумматоры	ИМ
Коммутаторы тока	КТ	Полусумматоры	ИЛ
Коммутаторы напряжения	КН	Счетчики	ИЕ
Коммутаторы прочие	КП	Дешифраторы	ИД
Формирователи импульсов	АГ	Комбинированные цифровые устройства	ИК
Формирователи прочие	АП	Шифраторы	ИВ
Логический элемент И	ЛИ	Арифметико-логические	ИА
Логический элемент ИЛИ	ЛЛ	Микро-ЭВМ	ВЕ
Логический элемент НЕ	ЛН	Микропроцессоры	ВМ
Логический элемент И-ИЛИ	ЛС	Контроллеры	ВГ
Логический элемент И-НЕ	ЛА	Специализированные	ВЖ

Подгруппа, вид микросхемы	Обозн.	Подгруппа, вид микросхемы	Обозн.
Логический элемент ИЛИ-НЕ	ЛЕ	ОЗУ	РУ
Логический элемент И-ИЛИ-НЕ	ЛР	ПЗУ (масочные)	РЕ
Логический элемент И-НЕ/ИЛИ-НЕ	ЛБ	Однократно программир. ПЗУ	РТ
Расширители	ЛД	Многократно программир. ПЗУ	РР
Прочие	ЛП	ПЗУ с ультрафиолет. стиранием	РФ
Триггеры Шмитта	ТЛ	Многофункциональные	ХЛ
Триггеры динамические	ТД	Цифровые матрицы	ХМ
Т-триггеры	ТТ	Комбинированные матрицы	ХТ
RS-триггеры	ТР	Прочие многофункц. устройства	ХП
D-триггеры	ТМ		

Пятый элемент — порядковый номер разработки в серии среди микросхем одного вида. При необходимости после пятого элемента в обозначение могут быть введены буквенные индексы от А до Я, определяющие разбраковку микросхем по допускам на основные параметры.

Подавляющее большинство отечественных цифровых микросхем имеет импортные аналоги, совместимые как по техническим характеристикам, так и по расположению выводов. Некоторые зарубежные микросхемы не имеют отечественных аналогов, а некоторые отечественные наоборот — не имеют импортных. Но все же эти примеры обычно относятся к малоупотребимым в радиолюбительской практике типам.

Маркировка зарубежных микросхем

Исторически так сложилось, что маркировка отечественных микросхем отличается от маркировки импортных, поэтому здесь мы приводим все необходимые сведения. Вообще имеется два вида маркировки, которые на самом деле очень похожи друг на друга. Первый вид состоит из четырех позиций.

Первая позиция — код изготовителя или код по международной классификации, состоящий из 2 букв латинского алфавита.

Вторая позиция — две цифры, указывают технологию изготовления микросхемы (серию):

Серия	Наименование
74	ТТЛ, коммерческое исполнение (0...+70 °С)
54	ТТЛ, специальное исполнение (−55...+125 °С)
40	КМОП

Третья позиция — 2 или 3 цифры, обозначающие функциональное название цифровой микросхемы в пределах обозначенной серии. К функциональному

назначению микросхемы может быть добавлен индекс модификации, свидетельствующий об изменениях, внесенных в схемотехнику микросхемы:

Модификация	Расшифровка модификации
A	Модифицированная версия, заменяющая прототип
B	Модифицированная версия, заменяющая прототип A
C	Модифицированная версия

Четвертая позиция — буквенный суффикс, обозначающий корпус микросхемы:

Суффикс	Название корпуса
D	Керамический с паяной крышкой
E	Пластмассовый
EM	Модифицированный пластмассовый с теплорастекателем
F	Плоский
J	Трехслойный, широкий керамический, с кристаллодержателем
K	Керамический плоский
P	Пластмассовый с теплорастекателем

Пример обозначения: DM74157E.

* * *

Поговорим о втором виде маркировки. Он во многом напоминает первый способ, но состоит из шести позиций и на сегодняшний момент используется для цифровых микросхем наиболее часто.

Первая и вторая позиции — аналогичны приведенным выше.

Третья позиция — одна или несколько букв, обозначающих подсемейство микросхемы в пределах серии:

Символ	Наименование подсемейства
C	КМОП микросхемы
H	ТТЛ с высоким быстродействием
L	ТТЛ с малой потребляемой мощностью
LS, ALS	ТТЛ с барьером Шотки и малой потребляемой мощностью
S	ТТЛ с барьером Шотки

Важно отметить, что если внутри традиционно принадлежащего ТТЛ обозначения 74 встретится буква C, например HC, это означает, что данная микросхема принадлежит к семейству КМОП микросхем, но совместима с ТТЛ.

Четвертая позиция — цифры, обозначающие функциональное назначение цифровой микросхемы в пределах серии.

Пятая позиция — буква, обозначающая тип корпуса микросхемы (аналогично четвертой позиции в первом виде маркировки).

Шестая позиция — суффикс, который может содержать отбраковочную информацию, код температурного диапазона и другие не слишком важные для радиолюбителя сведения.

Пример маркировки второго вида: DV74LS244D.

В дальнейшем мы расскажем о наиболее популярных сериях отечественных цифровых микросхем и приведем их зарубежные аналоги. Нам предстоит также подробнее узнать о технологиях ТТЛ и КМОП, их достоинствах и недостатках, перспективах, особенностях использования в схемах. ■

Распространенные серии

Мудр тот, кто знает не многое, а нужное.

Эсхил

Перед нами стоит нелегкая задача — рассказать о практически используемых сериях цифровых микросхем. Трудность заключается в том, что в арсенале радиолюбителей обычно содержится опыт работы с сотней-другой цифровых микросхем. Рассказать о таком количестве в рамках этой книги просто не представляется возможным. Поэтому мы решили выбрать из всего этого длинного списка наиболее часто встречающиеся, распространенные, и рассказать на их примере об общих принципах устройства микросхем, их достоинствах и недостатках. В последующих главах, при изготовлении схем или самостоятельном конструировании цифровых самоделок, работа микросхем вам будет более понятна. ■

Первые цифровые микросхемы

Разберемся в технологиях изготовления микросхем, скрывающихся за пока непонятными буквами ТТЛ, КМОП, ТТЛШ, РТЛ, ДТЛ. Вообще-то значительные, принципиальные отличия имеют микросхемы, производимые по технологиям ТТЛ и КМОП, а сокращенные наименования ТТЛШ, РТЛ, ДТЛ относятся к действующей технологии ТТЛ и ее ранним модификациям.

Что такое ТТЛ? Это всего-навсего «транзисторно-транзисторная логика». Уместна ли такая тавтология? Нет ли здесь «масла масляного» по известной поговорке? Ее предшественники РТЛ («резисторно-транзисторная логика») и ДТЛ («диодно-транзисторная логика») имеют более благозвучные названия. Примерно так же — необычно — звучит название прогрессивной технологии ТТЛШ — «транзисторно-транзисторная логика с элементами на основе барьеров Шоттки», технологии, позволяющей значительно повысить быстродействие микросхем и снизить их энергопотребление. Спешим обрадовать читателя: тавтология здесь если и есть, то в необходимом объеме, поясняющем суть работы

цифровых элементов. Чтобы почувствовать, что это действительно так, обратим внимание на рис. 14.6, на котором изображен один и тот же элемент — 3ИЛИ-НЕ, но реализованный в разных технологиях. Необычный транзистор VT1, изображенный на рис. 14.6, *в*, называется **многоэмиттерным транзистором**. Этот элемент специально разработан для применения в логических микросхемах и в качестве самостоятельного электронного компонента, реализованного в отдельном корпусе, не выпускается. Отсюда понятно, почему элемент ТТЛ — «транзисторно-транзисторный». Его основные свойства формируют только транзисторы, а остальные элементы применяются только как вспомогательные.

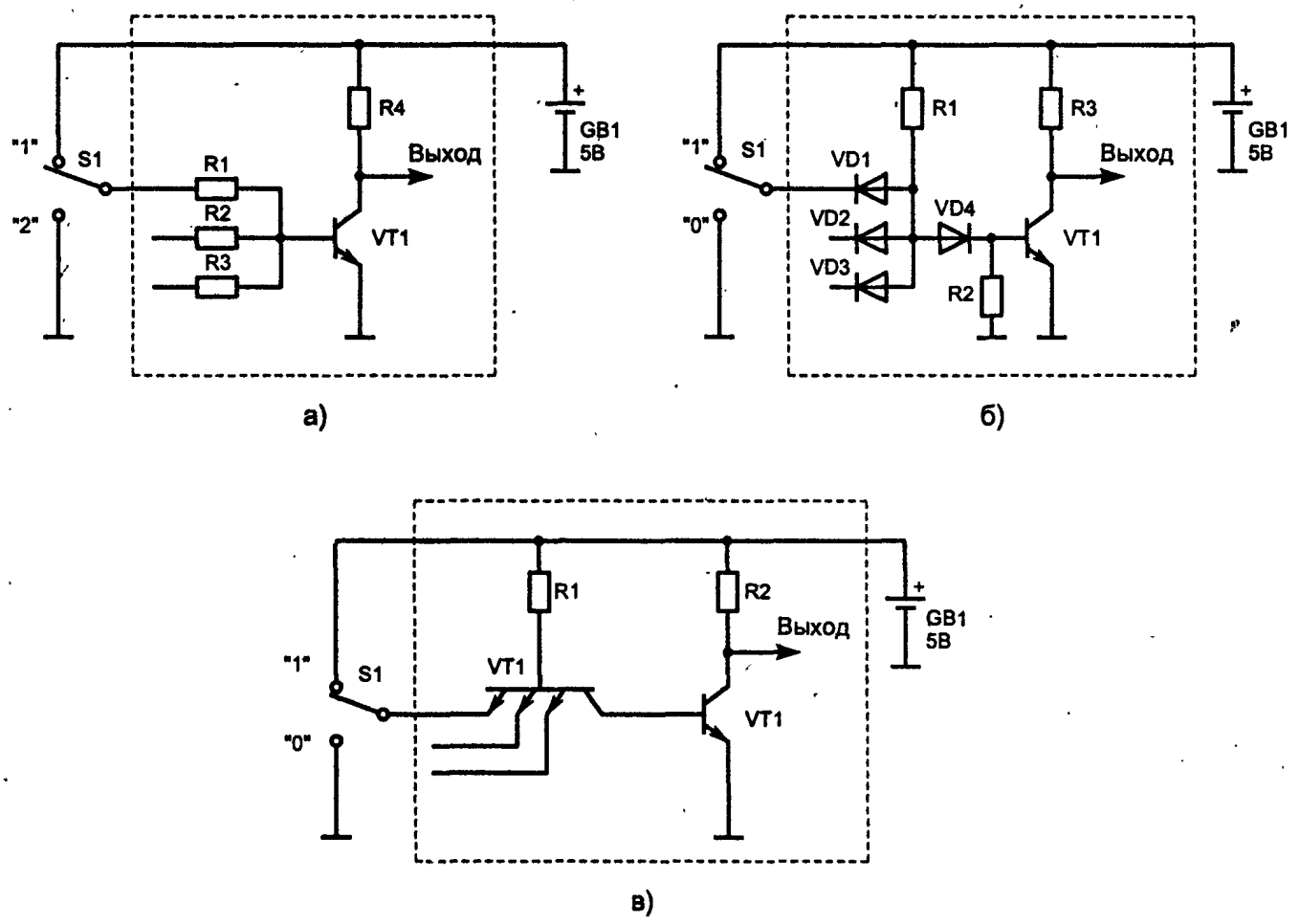


Рис. 14.6. Схемотехника логических элементов разных серий: *а* — РТЛ; *б* — ДТЛ; *в* — ТТЛ

У читателя наверняка появился законный вопрос: «Какой смысл иметь микросхемы, разработанные и производимые по разным технологиям, ведь все они работают одинаково?». Верно, исторически появившийся первым элемент РТЛ выполняет ту же функцию, что и «продвинутый» ТТЛШ! Реально — и об этом уже было сказано — элементы, изготовленные по разным технологиям, обладают разным быстродействием, отличаются по потреблению энергии. Быстродействие элемента определяется временем, за которое он переключается из одного логического состояния в другое. Чем быстрее смогут переключаться логические элементы, тем быстрее цифровая схема сможет совершать операции, производить вычисления. Обратите внимание на стремительно растущую частоту работы компьютерных микропроцессоров Intel — борьба идет за повышение максимально возможного числа переключений в секунду.

Второй немаловажный параметр логических элементов — потребляемая энергия (потребляемая мощность, потребляемый ток). Обычно интереснее сравнивать потребляемый микросхемами ток, так как напряжение питания у них может быть разным. На заре развития цифровой техники, когда вычислительные машины создавались на основе логических элементов, спроектированных с применением электронных ламп, для их питания требовались сравнительно большие мощности в сотни киловатт. Например, машина ENIAC в час потребляла 150 кВт. Потребляемая мощность современных домашних компьютеров оценивается по типовому блоку питания, встроенному в него. Мощность блока питания обычно не превышает 200–300 Вт, а возможности современных компьютеров в миллионы раз шире, чем тех, первых, на электронных лампах.

Особенно важно потребление энергии в портативной аппаратуре с батарейным питанием. Чем меньше потребляет прибор энергии, тем дольше прослужит питающий его комплект батарей. Наиболее показательный пример — надежная работа наручных электронных часов, которые могут годами «ходить», не требуя смены крохотных «батареек», хотя внутри электронной схемы работает не одна сотня транзисторов. Другой пример — переносные ноутбуки, которые можно взять с собой в поездку и которые практически ненамного уступают по возможностям настольным компьютерам.

На сегодняшний момент ТТЛ технология подошла к границе своих возможностей по быстродействию и потреблению энергии. У профессиональных разработчиков цифровой техники она уже не считается «технологией с большим будущим». На что обращено внимание профессионалов? Ситуация без перспектив, как правило, является тупиковой. Должен же быть какой-то выход? Выход есть. Рассматривая технологию ТТЛ, основанную на использовании биполярных транзисторов, мы совершенно забыли о том, что есть еще и полевые приборы, на управление которыми практически не нужно затрачивать энергию... Мы рассмотрим перспективные серии микросхем с пониженным энергопотреблением в следующем разделе, а в этом настало время обозначить серии ТТЛ, рекомендуемые для радиолюбительского творчества.

Сравнительная табл. 14.4, показывающая динамические параметры (быстродействие) и потребляемую мощность разных микросхем в расчете на перенос одного бита, отражает усредненные параметры. Следует помнить, что параметры конкретных микросхем могут несколько отличаться от указанных средних, но общая тенденция сохраняется.

Для большинства радиолюбительских разработок рекомендуется использовать ТТЛ и ТТЛШ серии **К555** и **КР1533**. Серии К155 и 133 на сегодняшний день считаются устаревшими, неперспективными, поэтому по возможности их лучше исключить из арсенала и использовать в своих практических конструкциях только в крайних случаях, когда под рукой не окажется нужной микросхемы из серий К555 и КР1533. В составе этих серий есть полные аналоги всех микросхем устаревших серий, так что таким обстоятельством нужно активно пользоваться. Напряжение питания всех рекомендуемых ТТЛ микросхем — +5 В с допуском не более ±5 %.

Микросхемы серий К531 и К1531 разумно применять в тех случаях, когда требуемое быстродействие всего устройства или части цифровой схемы лежит

Таблица 14.4. Основные возможности логических микросхем разных серий

Серия	Потребляемая мощность на перенос одного бита, мВт	Граничная частота, МГц	Технология	Задержка переключения, нс
К134, К158	1,0	3,0	ТТЛ	33,0
133, К155	10,0	10,0	ТТЛ	9,0
130, К131	22,0	30,0	ТТЛ	6,0
533, К555	2,0	10,0	ТТЛШ	9,5
530, К531	19,0	80,0	ТТЛШ	3,0
КР1533	1,2	30,0	ТТЛШ-2	4,0
К1531	4,0	150,0	ТТЛШ-2	3,0
7400	10,0	40,0	TTL	10,0
74L00	1,0	13,0	L-TTL	33,0
74H00	23,0	80,0	H-TTL	5,0
74S00	20,0	130,0	S-TTL	3,0
74LS00	2,0	50,0	LS-TTL	9,5
74AS00	8,0	230,0	AS-TTL	1,7
74ALS00	1,2	100,0	ALS-TTL	4,0

выше частоты 30 МГц. Эти микросхемы обладают значительным энергопотреблением. Установленные в приборы, они всегда нагреваются и ощущаются хорошо прогретыми при приложении к ним кончика пальца. Поэтому радиолюбителю рекомендуется работать с сериями К531 и К1531 «с оглядкой», хорошо подумав, а есть ли смысл использовать здесь микросхему этой серии? Зачастую в несложных цифровых приборах даже только одна такая микросхема, будучи установленной вместо КР1533, может в два раза увеличить потребляемый ток.

Таблица 14.5. Эквивалентные серии

Отечественные	Зарубежные
К130...	SN54Hxx
К131...	SN74Hxx
К133...	SN54xxx
К1531...	SN74Fxx
К1533...	SN74HCxx
КР1533...	SN74ALSxx
К155...	SN74xxx(N)
К158...	SN74Lxx
К530...	SN54Sxx
К531...	SN74Sxx
К533...	SN54LSxx
К555...	SN74LSxx

Получить исчерпывающие сведения о перспективных отечественных микросхемах серии ТТЛ можно в книге [1]. Этот справочник пользуется заслуженной популярностью как у профессионалов, так и у радиолюбителей.

Отечественные цифровые ТТЛ микросхемы имеют зарубежные аналоги, табл. 14.5 (вместо знаков xx стоят цифры).

Перспективные зарубежные серии ТТЛ имеют наименования 74F, 74LS, 74ALS и совпадают по техническим характеристикам с отечественными сериями КР1531, К555 и КР1533 соответственно. По этим названиям микросхемы можно разыскивать в прайс-листах фирм, торгующих электронными компонентами. ■

Микросхемы с пониженным потреблением

Поиск вариантов снижения энергопотребления привел разработчиков цифровой техники к применению для реализации логических элементов полевых транзисторов с изолированным затвором. Отсюда и берет начало название технология КМОП — на основе «комплементарных полевых транзисторов со структурой металл-окисел-полупроводник». «Изюминка» элементов этой серии заключается в наличии так называемой **пушпульной схемы**, которая в статическом (непереключающемся) состоянии потребляет ток, оцениваемый микроамперами. Что такое пушпульный каскад? Обратим внимание на рис. 14.7. Пушпульный выход — это соединение транзисторов VT1 и VT2 так, как показано на представленном рисунке (а), — «столбиком». Чем замечательна эта схема?

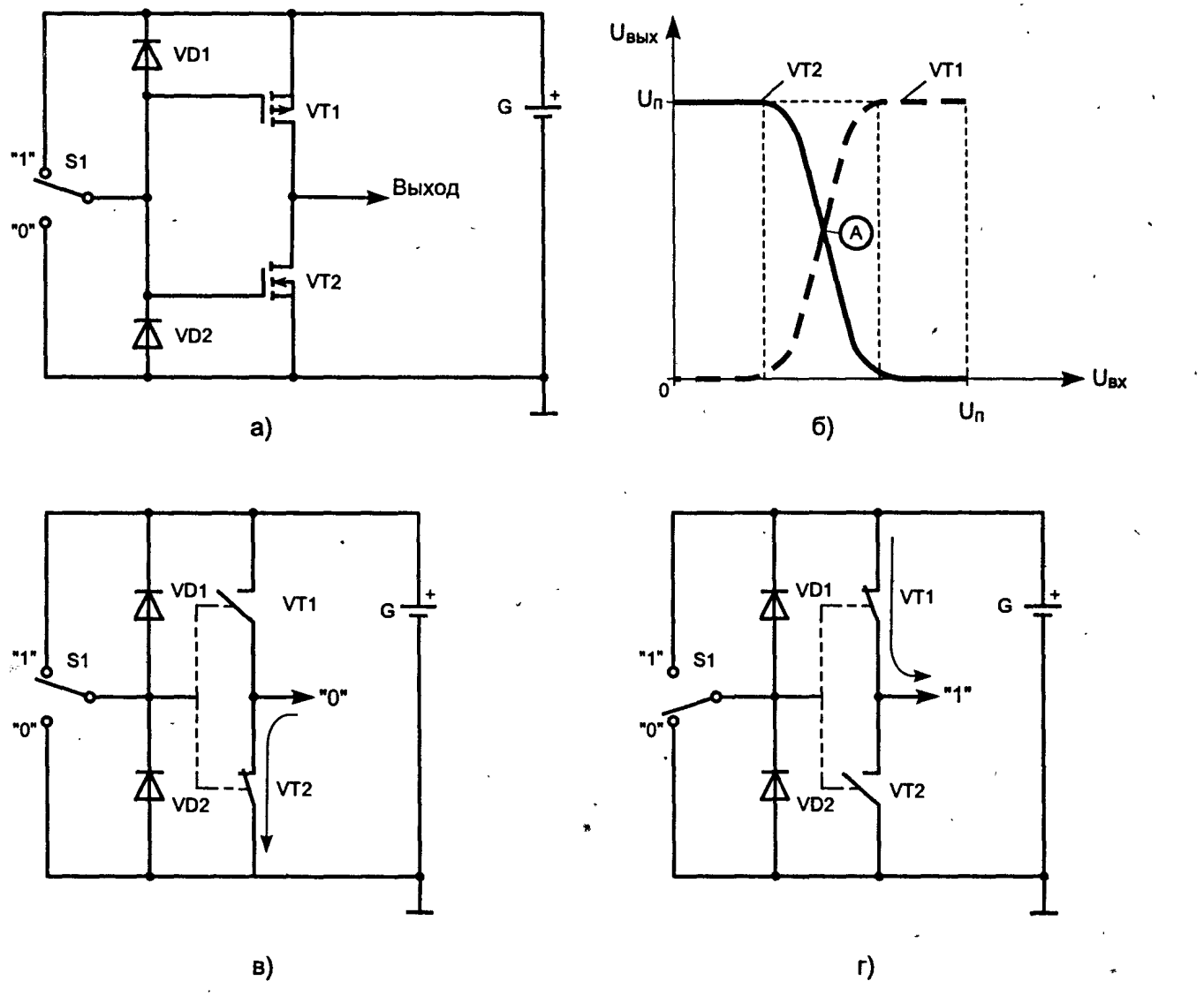


Рис. 14.7. Принцип действия КМОП инвертора

Если нагрузка на выходе элемента отсутствует, то его общий потребляемый ток ограничивается только током утечки затворов транзисторов. Основная часть энергии, потребляемой КМОП микросхемой, затрачивается при переключении транзисторов, так как бывают мгновения, когда оба транзистора еще открыты в процессе изменения своего состояния. Это видно на рис. 14.7, *б* в точке А, где на одном графике показаны передаточные характеристики верхнего и нижнего транзисторов. Интересное свойство этого вида микросхем — средний потребляемый ток растет с повышением частоты переключения. Причина понятна — растет число переключений в секунду.

Имеющиеся внутри диоды VD1 и VD2, на первый взгляд, кажутся совершенно излишними, так как в процессе нормальной работы они всегда находятся в закрытом состоянии. И тем не менее эти диоды защищают входы микросхем от пробоя статическим электричеством — они открываются, когда напряжение на входе выходит за рамки напряжения питания микросхемы. Пробивное обратное напряжение для защитных диодов примерно 25...50 В.

Особенность КМОП микросхем состоит еще в том, что свободные (неиспользуемые) входы не должны оставаться «висящими» в воздухе, то есть неподключенными. Эти выводы лучше подключить к шине питания или к общему проводу, но так, чтобы это подключение не нарушило логику работы микросхемы, не заблокировало ее, не перевело в режим постоянного сброса. Словом, нужно досконально изучить работу микросхемы еще до разработки цифрового прибора.

Основной недостаток КМОП микросхем традиционных серий — их низкие по сравнению с элементами ТТЛ скорости переключения. Быстродействие не превышает в лучшем случае 3...5 МГц. Другая важная особенность работы с микросхемами заключается в общих мерах предосторожности, рекомендуемых при работе с полевыми приборами. Конечно, разработчики приняли все меры, чтобы обезопасить микросхемы от повреждения статическим электричеством. Но вероятность такой аварии существует, поэтому рекомендуются классические способы защиты в виде заземления паяльника и тела. Еще одно интересное свойство современных перспективных КМОП микросхем, которое, впрочем, относится к достоинствам, — надежная работа в широком диапазоне питающих напряжений: практически от 3 до 18 вольт.

Первая отечественная серия микромощных микросхем имеет маркировку К176. Эта серия очень широко применялась в цифровой аппаратуре и до сих пор встречается во вновь разработанных радиолюбительских конструкциях, ее можно легко приобрести. Тем не менее относиться к ней нужно с осторожностью — по некоторым вполне достоверным сведениям, эта серия снимается с производства, и то, что сегодня продается, поступает из старых запасов. Не исключена ситуация, когда радиолюбитель просто не сможет найти нужную микросхему на рынке: «закончилась» — скажут продавцы. Впрочем, серия К176 включает в себя много разновидностей микросхем, а ее основной недостаток — жестко нормированное напряжение питания 9 В с 5-процентным допуском, что затрудняет ее согласование с микросхемами ТТЛ серий. Но, как показывает практика, логические элементы этой серии реально сохраняют работоспособность в диапазоне напряжений 5...12 вольт, но — без гарантии на-

дежной работы для некоторых экземпляров. Можно обеспечить надежное сопряжение микросхем с помощью так называемых **преобразователей уровня** (маркировка ПУ) — самостоятельных специализированных микросхем. Однако это усложнит схему — придется ввести два источника питания: на 5 и 9 В, что конечно же неудобно.

Основными в арсенале радиолюбителя являются микросхемы КМОП серии К561 и более новой К1561. В некоторых конструкциях можно встретить микросхемы серии 564 (там тот же самый кристалл, что и в К561). Они выпускаются в более компактных корпусах с планарными золочеными выводами, что, вне всякого сомнения, способствует продлению срока службы, но на порядки увеличивает цену. Эта серия непопулярна у радиолюбителей по экономическим соображениям. Вдобавок, по сравнению с серией К561, она не обладает какими-либо преимуществами, выигрышем в потреблении и другими важными свойствами. Диапазон питающих напряжений для серий 564 и К561 составляет 3...15 вольт, а для серии КР1561 — 3...18 вольт.

Особое внимание читателя хочется обратить на серию КР1561, так как именно она будет интенсивно развиваться в ближайшие годы. У нее в выходных каскадах всех логических элементов установлены буферные усилители, увеличивающие нагрузочную способность и повышающие устойчивость к коротким замыканиям выходов на шины питания. К сожалению, эта серия пока содержит не так много разновидностей отечественных микросхем, как хотелось бы. Рекомендовать здесь можно использование импортных элементов, изготавливаемых по той же технологии.

Самой прогрессивной и стремительно развивающейся является отечественная серия КР1554, которая уже конкурирует по быстродействию с серией КР1533. Но обольщаться особо не стоит — микросхемы серии КР1554 только на низких частотах обладают низким потреблением, при частотах, приближающихся к предельным для ТТЛ серий, потребление обеих серий сравнивается. В чем же здесь преимущество? Серия КР1554 может работать при питающем напряжении 3 В. К сожалению, пока она мало распространена на отечественном рынке радиодеталей.

Отечественные КМОП микросхемы имеют зарубежные аналоги, табл. 14.6.

Таблица 14.6. Эквивалентные серии микросхем

Отечественные	Зарубежные
К176...	CD4xxx
КР1554...	SN74ACxx
КР1561...	CD4xxxB (MC14xxxB)
К1564...	MM54HCxx
К561...	CD4xxxA (MC14xxx)

Вместо знаков **xxx** в маркировке стоят цифры, указывающие на вид микросхемы. Информацию по замене конкретных импортных микросхем отечественными аналогами можно найти в книге [2]. ■

Как все это работает?

Вопросы никогда не бывают нескромными.
В отличие от ответов.
Оскар Уайльд

А сейчас поговорим о назначении и принципах работы простейших логических элементов и узлов, выполненных на их основе. Любой логический элемент имеет один или несколько **входов** и один или несколько **выходов**. Подавая различные комбинации цифровых сигналов на входы и фиксируя состояние выходов, можно исследовать логические схемы, составить для них **таблицы истинности** — таблицы, отражающие поведение схемы при всевозможных комбинациях входных сигналов. Составление таблицы истинности — это наиболее простой способ описания простых устройств цифровой техники. Существуют и другие способы, например **временные диаграммы**, в которых все сигналы «разворачиваются» на временной горизонтальной оси в виде графика. Можно описывать работу словами или же языком математики (есть так называемая Булева алгебра — Дж. Буль (1815–1864) — английский математик разработал специальную алгебру логики). Кроме языка математики, со всеми остальными способами мы с вами познакомимся. Но для описания многих логических элементов таблиц истинности вполне достаточно.

Все цифровые микросхемы по количеству компонентов внутри корпуса можно разделить на простейшие (они выполняют простые логические операции) и более сложные (выполняют логические функции). Последние состоят внутри из большого числа специальным образом соединенных простых логических элементов, выполняющих часто необходимые задачи, что позволяет уменьшить число корпусов микросхем в конструкции. ■

Простейшие логические элементы

Один логический элемент, в зависимости от технологии его изготовления, может состоять из 5...15 компонентов (транзисторов, резисторов, диодов). На одном кристалле полупроводника за один технологический цикл изготавливается сразу несколько аналогичных логических элементов, связанных между собой только цепями питания, что позволяет уменьшить габариты и стоимость разрабатываемой конструкции. К тому же при разработке топологии печатной платы в этом случае можно использовать те элементы, для которых проще всего выполнить разводку соединения (элементы можно менять местами на электрической схеме). Чтобы не загромождать схему линиями, обычно цепи питания микросхем не рисуют (их указывают отдельно), но об их необходимости подключения не следует забывать, иначе ничто работать не будет.

Еще необходимо учитывать, что в цифровых схемах логические элементы могут иметь один из пяти вариантов выполнения выходного каскада (рис. 14.8):

а) обычный выход (чаще всего комплиментарный), на котором может присутствовать либо 0, либо лог. 1 (он непосредственно подключается к входу другого логического элемента). На электрической схеме такой выход ничем не выделяют — их большинство;

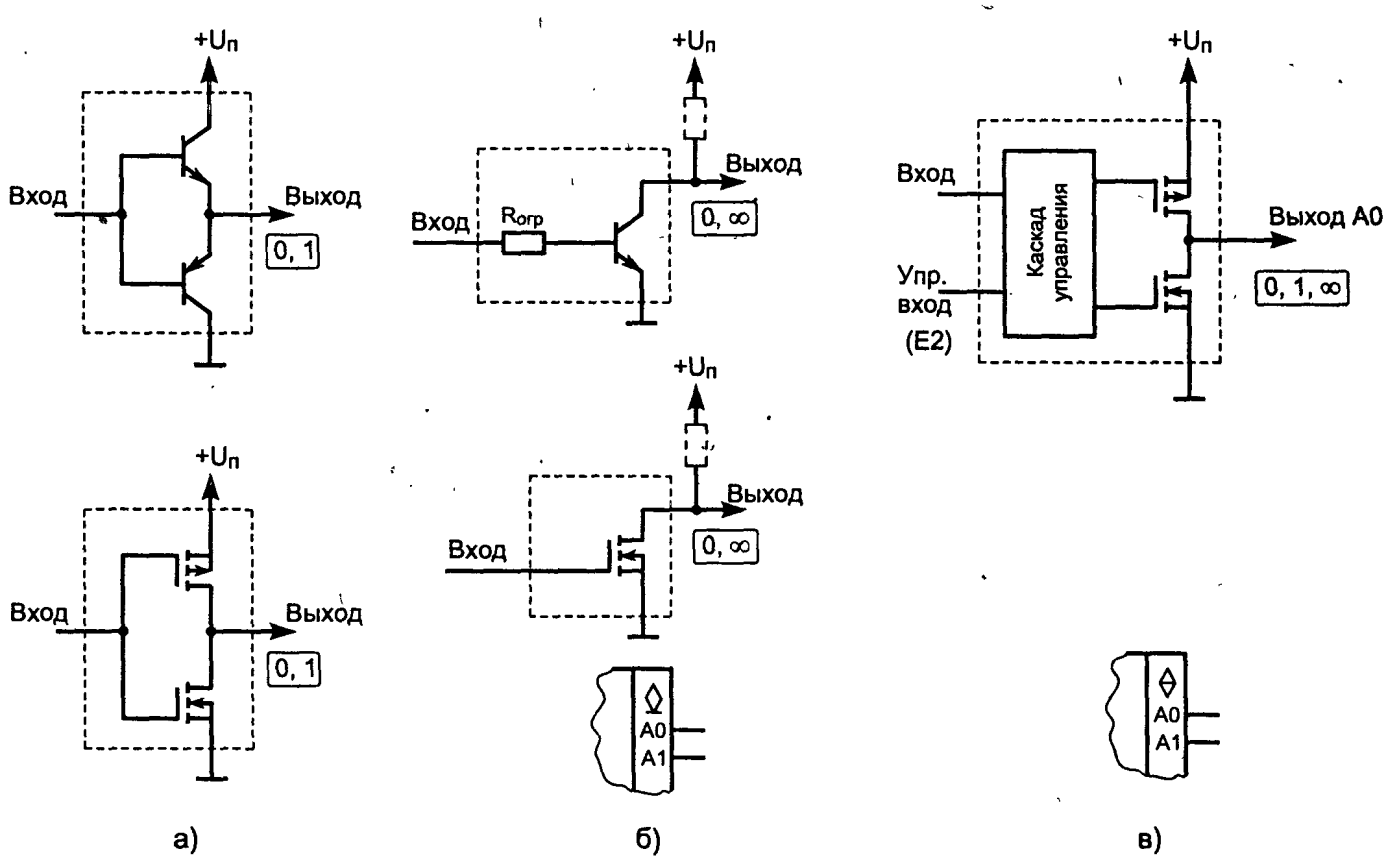


Рис. 14.8. Разные варианты внутренней структуры выходных каскадов цифровых микросхем

б) выход с открытым коллектором или стоком (если к такому выходу не подключить внешний резистор, соединенный с +Uп, то мы не увидим никакого изменения уровня сигнала). Открытые выходы можно объединять между собой, то есть они могут работать на одну нагрузку (резистор). На электрической схеме такой выход обозначается ромбиком с чертой внизу;

в) выход с тремя состояниями. На нем может быть либо 0, либо лог. 1, либо «ничего» — так называемое **высокоимпедансное состояние** (Z-состояние) — вывод как бы повисает в воздухе. Выполняется это за счет того, что выходными транзисторами можно раздельно управлять, и перевод в это **состояние** осуществляется закрыванием обоих транзисторов. На электрической схеме такой выход обозначается ромбиком с чертой посередине (например, такой является микросхема К561ЛН1 с 6 инверторами, рис. 14.9);

г) два других варианта выходов: когда не подключен только исток (эмиттер) транзистора (обозначается ромбиком с чертой вверху) или же оба вывода просто выведены (открытый коллектор и эмиттер) — в цифровых микросхемах встречаются очень редко, и мы их рассматривать не будем.

Ну а теперь давайте познакомимся с самыми распространенными элементами, рис. 14.9 (их работу надо запомнить).

Повторитель сигнала — элемент, не несущий в себе никакой осмысленной цифровой операции. Принцип работы следует из его названия, а таблица истинности показана на рис. 14.10. Он используется для увеличения нагрузочной способности выходов, для буферирования слабых цифровых сигналов (усиления по току), для преобразования электрических уровней и согласования разных типов микросхем. Одинаковые логические элементы можно включать параллельно по 2–4 штуки, это увеличивает нагрузочную способность (выходной

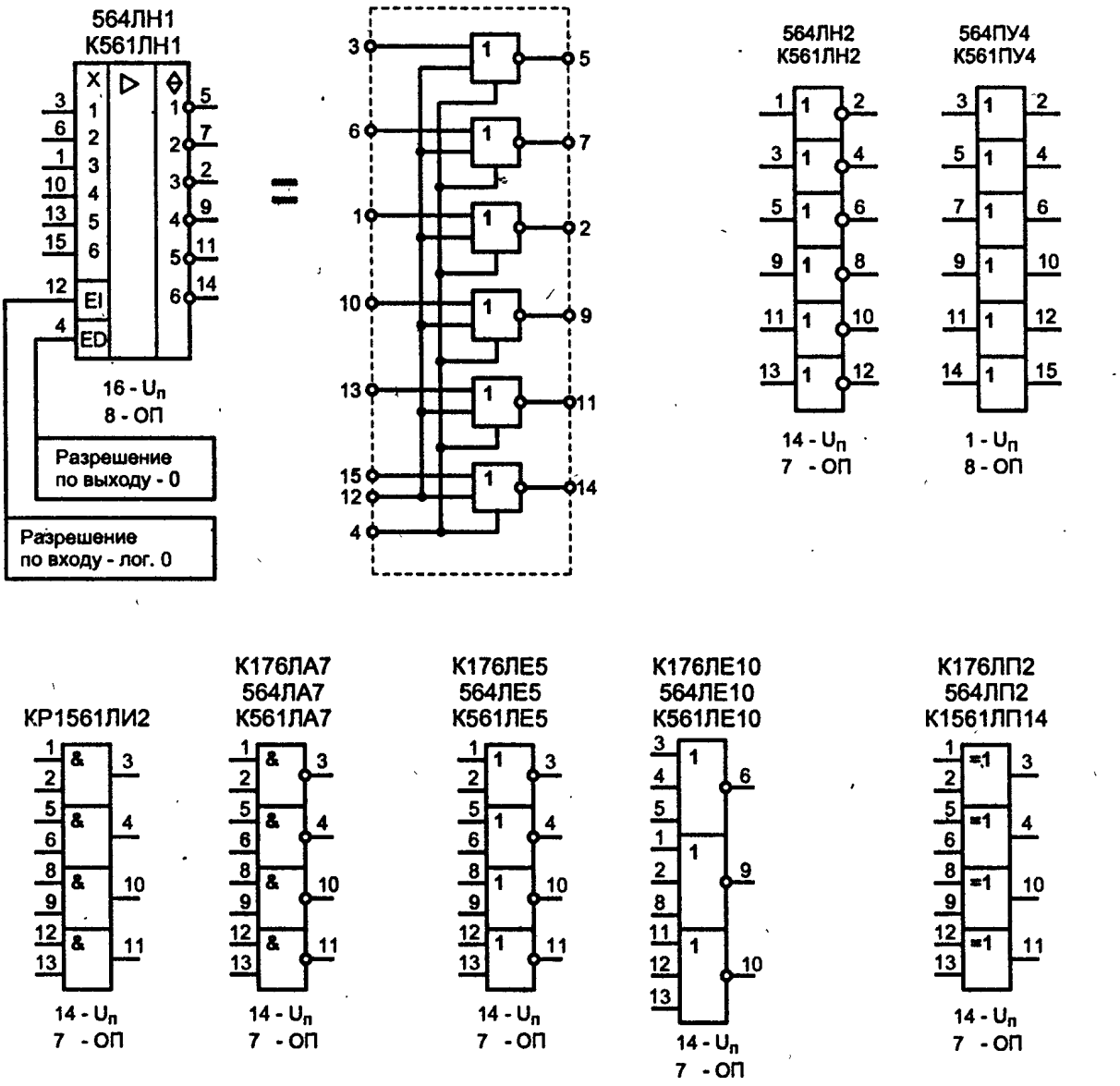
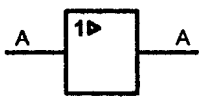


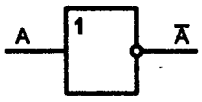
Рис. 14.9. Простые логические микросхемы

ток). В крайнем случае роль буферного элемента может выполнять каскад эмиттерного повторителя на любом транзисторе — так делают, когда необходим только один или два повторителя, из-за чего неудобно ставить микросхему, имеющую их аж 6 штук или же когда на выходе нужен ток, превосходящий возможности одного буфера (для управления реле или ИК-диодом).



Вход (A)	Выход (A)
0	0
1	1

Рис. 14.10. Таблица истинности повторителя сигнала



Вход (A)	Выход ($\bar{A}$)
1	0
0	1

Рис. 14.11. Таблица истинности инвертора НЕ (NOT)

Инвертор — логический элемент, выполняющий операцию логического отрицания НЕ (NOT — обозначение этой операции в зарубежной литературе). Таблица истинности инвертора показана на рис. 14.11. Как следует из рисунка, этот элемент устанавливает на своем выходе состояние сигнала, противопо-

ложное тому, которое установлено на входе. Аналогичную задачу может выполнять обычный транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером (общим истоком).

Элемент И — выполняет функцию логического умножения (AND). Работу его очень просто продемонстрировать с помощью схемы, выполненной на реле, рис. 14.12. Пока переключатели SA1 и SA2 находятся в разомкнутом состоянии, прибор PV регистрирует низкий уровень сигнала. При замыкании только одного из переключателей ситуация не меняется, и только при замыкании обоих переключателей прибор PV зарегистрирует высокий уровень сигнала. Диаграмма напряжений и таблица истинности этого элемента показаны на рис. 14.13.

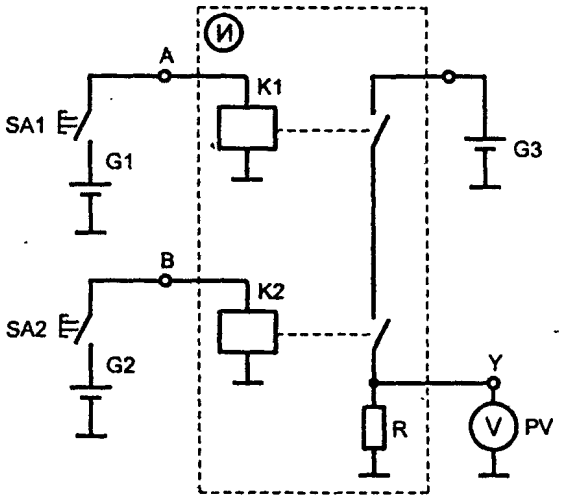
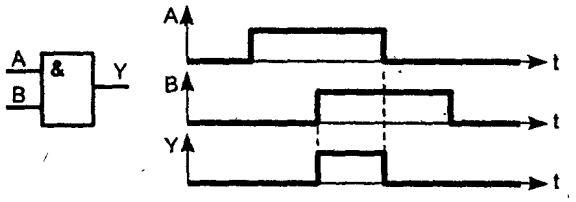


Рис. 14.12. Пояснение работы логического элемента И

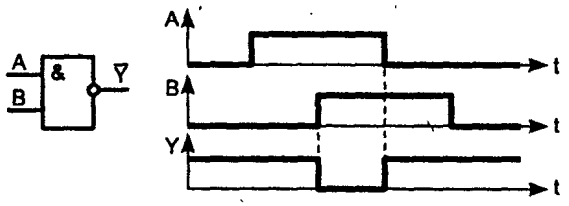


Вход (A)	Вход (B)	Выход (Y)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Рис. 14.13. Диаграмма напряжений и таблица истинности элемента И (AND)

Чаще всего показанный логический элемент обозначают, как 2И, поскольку входов у схемы — два; существуют разновидности элементов, выполняющих функцию логического умножения трех (3И) и более входных сигналов. В любом случае изменение сигнала на выходе произойдет при одновременной установке в высокий уровень всех входных сигналов.

Элемент И-НЕ — разновидность элемента, выполняющего функцию логического умножения с той разницей, что на выходе осуществляется операция НЕ (NOT) — инверсия. Таблица истинности такого элемента показана на рис. 14.14. По аналогии с предыдущим элементом имеются также элементы 3И-НЕ и другие.



Вход (A)	Вход (B)	Выход ($\overline{Y}$)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рис. 14.14. Таблица истинности и диаграмма напряжений элемента И-НЕ (NAND)

Элемент ИЛИ — выполняет функцию логического сложения (OR). Вновь проиллюстрируем работу с помощью простейшей схемы, показанной на рис. 14.15. В разомкнутом состоянии пе-

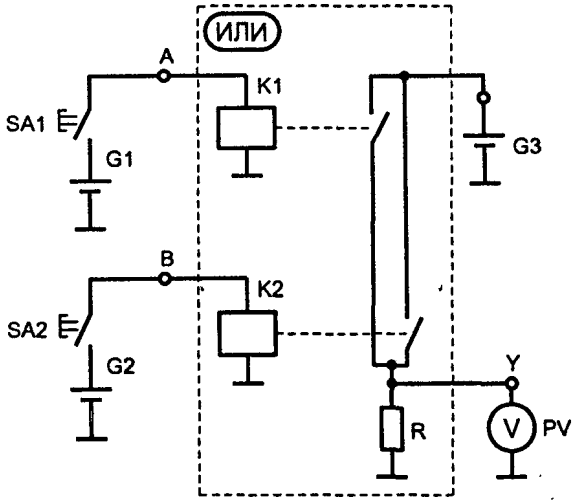
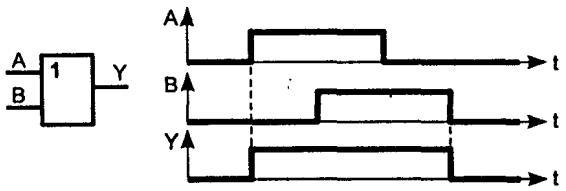


Рис. 14.15. Пояснение работы логического элемента ИЛИ



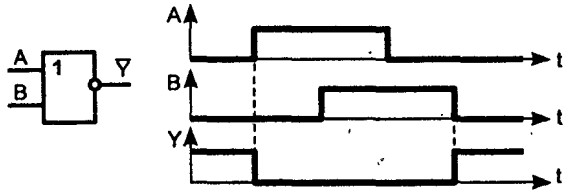
Вход (A)	Вход (B)	Выход (Y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Рис. 14.16. Диаграмма напряжений и таблица истинности элемента ИЛИ (OR)

реключателей SA1 и SA2 прибор PV регистрирует низкий уровень, при замыкании переключателей SA1 или SA2 регистрируется высокий уровень, то же самое происходит и при их одновременном замыкании.

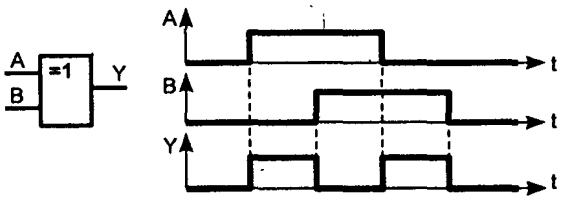
Таблица истинности элемента показана на рис. 14.16.

Элемент ИЛИ-НЕ (NOR) показан на рис. 14.17 и дополнительных пояснений не требует.



Вход (A)	Вход (B)	Выход ($\overline{Y}$)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Рис. 14.17. Таблица истинности и диаграмма напряжений элемента ИЛИ-НЕ (NOR)

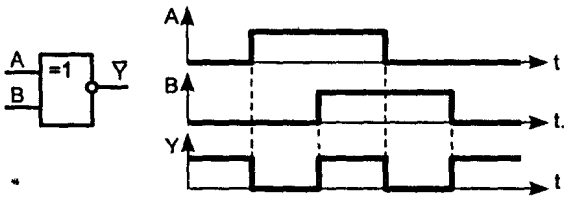


Вход (A)	Вход (B)	Выход (Y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рис. 14.18. Таблица истинности и диаграмма напряжений элемента Исключающее ИЛИ (XOR)

Элемент Исключающее ИЛИ (XOR) — может быть составлен из названных элементов путем их соединения по определенному правилу. Однако этот элемент принято включать в набор «кирпичиков» цифровой техники, поскольку функция, выполняемая им, уникальна. Это — цифровой компаратор, который сигнализирует о равенстве сигналов на входах. На выходе будет лог. 0, только когда на обоих входах 0 или 1. Таблица истинности этого элемента показана на рис. 14.18.

Элемент Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOT-OR) мало чем отличается от предыдущего элемента. На выходе будет лог. 1, только когда на обоих входах 0 или 1. Таблица его истинности показана на рис. 14.19.



Вход (A)	Вход (B)	Выход ($\overline{Y}$)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Рис. 14.19. Таблица истинности и диаграмма напряжений элемента Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOT-OR)

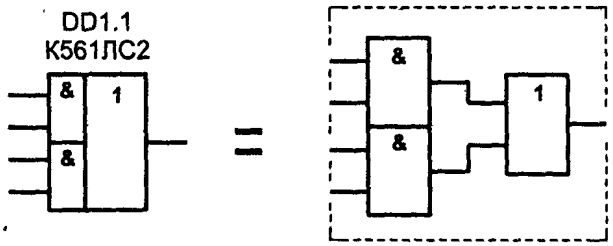


Рис. 14.20. Вариант комбинации логических элементов в одном корпусе для удобства создания конструкций

Кроме описанных простейших элементов, часто используются и более сложные, размещенные в одном корпусе микросхемы. Например, элемент 2И-ИЛИ, изображенный на рис. 14.20, может быть заменен показанной эквивалентной схемой.

Иногда в практических схемах, кроме обычных логических элементов, можно встретить логические элементы, выполненные на диодах-резисторах (рис. 14.21). Так делают, когда нецелесообразно устанавливать лишний корпус микросхемы, а небольшое увеличение при этом потребляемого тока значения не имеет. Существует много и других комбинаций, но мы пока ограничимся вопросами построения логических цепей, называемых **комбинационными логическими схемами**, и перейдем к другому виду — **последовательностным схемам** (схемам, работающим в определенной последовательности действий). ■

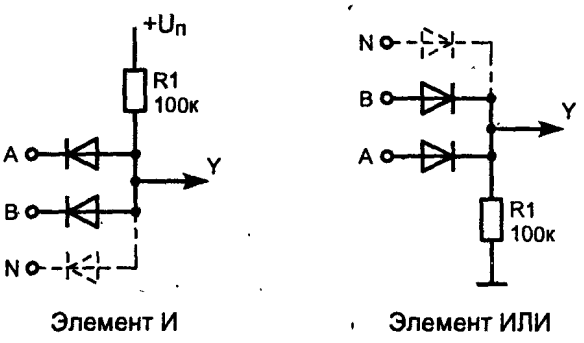


Рис. 14.21. Диодно-резисторные логические элементы

Триггер — ячейка памяти

Итак, комбинационная логическая схема, как мы уже поняли, строится на основе элементарного логического элемента. Последовательностная логическая схема в своей основе имеет другой элементарный элемент — **триггер**. Но не думайте, что сейчас вы встретите что-то принципиально новое. В рассказе о триггере мы столкнемся со знакомыми нам логическими «кирпичиками», соединенными особым образом.

Итак, триггер. Он предназначен для размещения цифровых данных, обеспечения нужных временных задержек, формирования заданных последовательностей сигналов. Триггер обладает очень важным свойством — имеет **память**. Он запоминает входные сигналы даже тогда, когда они будут сняты. Различают несколько разновидностей триггеров, поэтому поговорим о них по очереди. Эти элементы мы будем рассматривать на примере конкретных микросхем из

КМОП серий, которые наиболее удобны для изготовления своих конструкций (все ниже изложенное справедливо и для других серий, но иногда с небольшими поправками, о которых можно узнать в справочнике).

Триггер Шмитта по своему функционированию напоминает буферный элемент, поскольку не выполняет никакой логической операции (может использоваться как обычный буфер). Но в отличие от обычных элементов, он обладает гистерезисом при переключении и предназначен для формирования цифровых сигналов на выходе с крутыми фронтами (для исключения ложных срабатываний) при медленном изменении уровня сигнала на входе, например для сопряжении цифровой схемы с аналоговой или с механическими контактами кнопок и переключателей. Метод получения гистерезиса при помощи положительной обратной связи мы уже рассматривали в главе 13, когда речь шла об аналоговых компараторах.

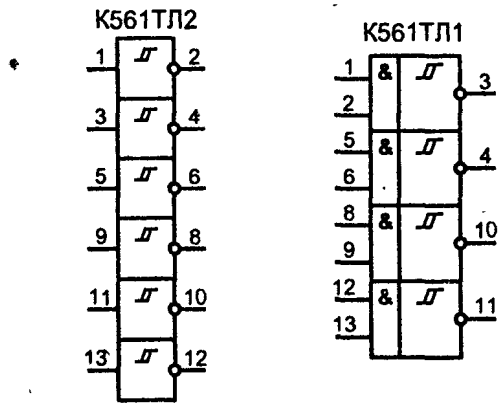


Рис. 14.22. Триггеры Шмитта из серии К561

На практике часто используются триггеры Шмитта как с одиночным инвертирующим триггером, так и с логикой 2И-НЕ на входе, рис. 14.22. Если вам не удалось приобрести одиночный триггер Шмитта, то его можно заменить эквивалентом, собранным на двух обычных инверторах, как это показано на рис. 14.23, но для этого придется установить дополнительные резисторы, как показано. Рис. 14.24 поясняет процесс переключения такого элемента.

На них удобно выполнять генераторы импульсов, как это показано на рис. 14.25.

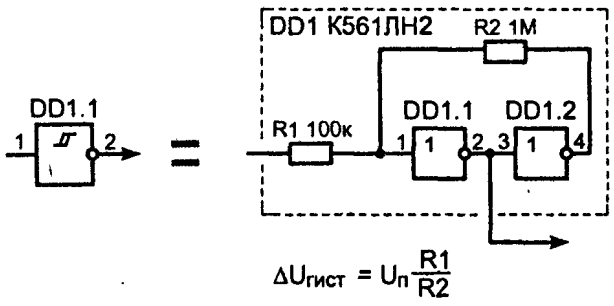


Рис. 14.23. Замена инвертирующего элемента триггера Шмитта его аналогом на двух инверторах

RS-триггер (его вид и эквивалентная структура, но собранная на двух отдельных элементах 2ИЛИ-НЕ, приведены на рис. 14.26). Входы имеют уникальные названия: S (set) — установка, R (reset) — сброс. Работу триггера поясняет приведенная таблица истинности, где Q(t) — состояние выхода до появления управляющего входного сигнала, а Q(t+1) — последующее состояние (для инверсного выхода, если он есть, все то же самое, только наоборот).

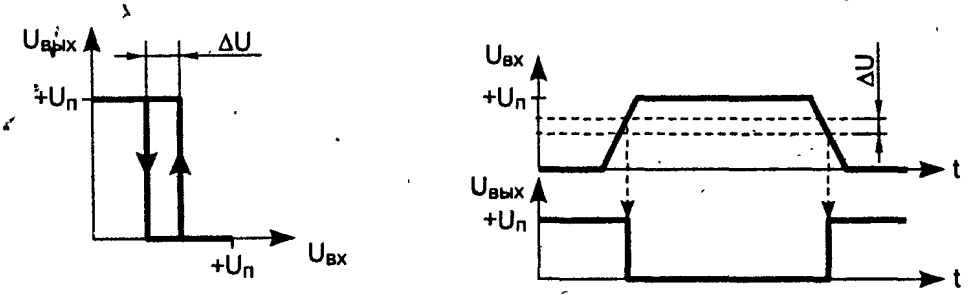


Рис. 14.24. Гистерезисная характеристика триггера Шмитта (с инверсией сигнала и диаграммы напряжений, поясняющие работу

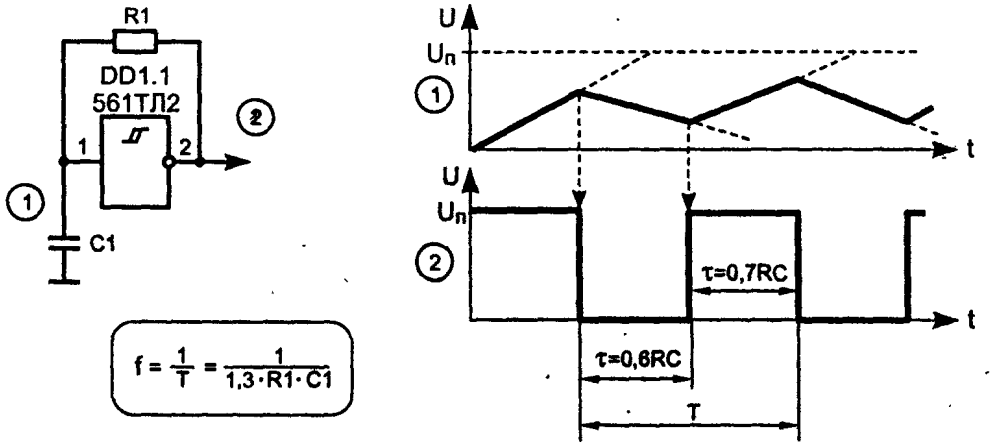
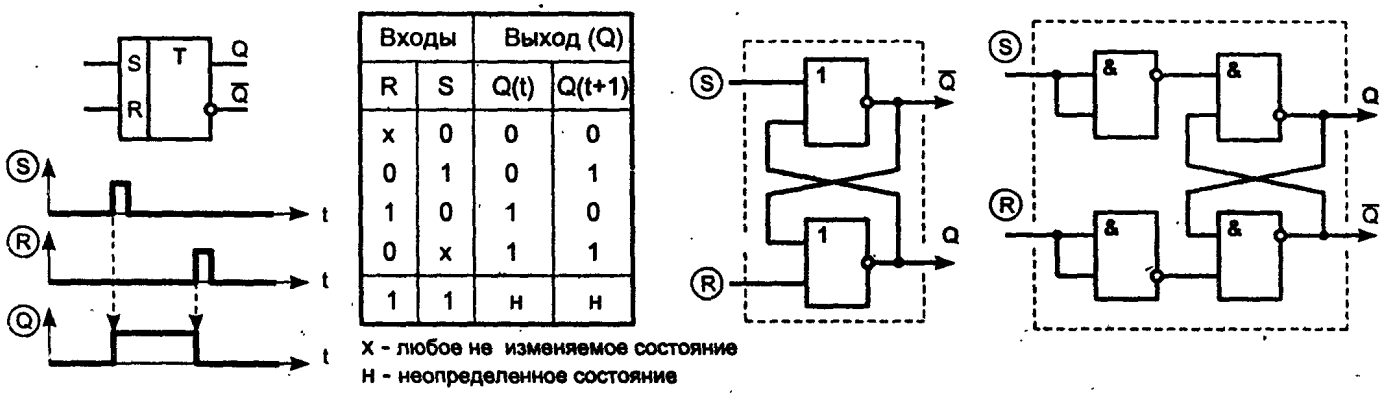


Рис. 14.25. Генератор импульсов на осиове триггера Шмитта



Входы		Выход (Q)	
R	S	Q(t)	Q(t+1)
x	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
0	x	1	1
1	1	н	н

Рис. 14.26. RS-триггер, таблица истинности для прямого выхода Q и его внутренняя структура

При подаче на оба входа триггера (R и S) уровня логической единицы состояние — на выходах не определено (непредсказуемо), поэтому такой сигнал является **запрещенным** и обычно не используется. Для установки на выходе Q логической единицы необходимо подать лог. 1 на вход S, и наоборот — для установки лог. 0 достаточно кратковременно подать лог. 1 на входе R. При нулевых уровнях на входах состояние триггера не изменяется — это состояние называется режимом **хранения**. При включении питания состояние триггера не определено — он может с равной вероятностью иметь на выходе Q как единицу, так и ноль.

Среди серии 561 в качестве RS-триггеров могут использоваться микросхемы приведенные на рис. 14.27. Реальные микросхемы, выпускающиеся промышленностью, чаще всего являются совмещенными — их можно использовать и в качестве RS-триггеров, и в качестве других типов триггеров. Это на практике оказывается удобнее, чем применять триггеры «в чистом виде». На рисунке из трех типов микросхем только одна является в чистом виде

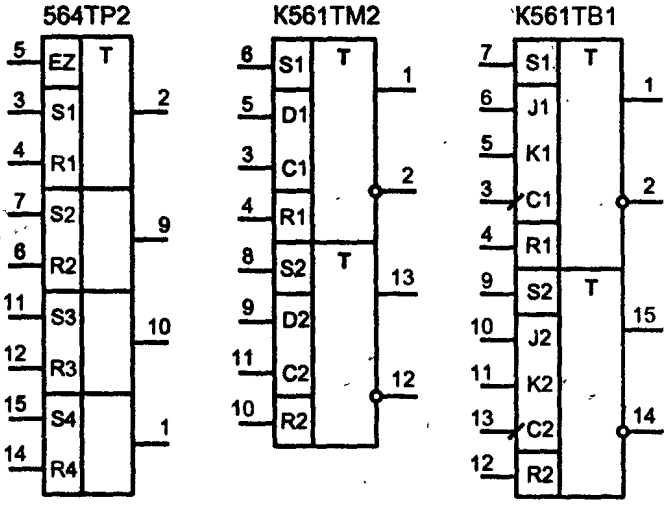
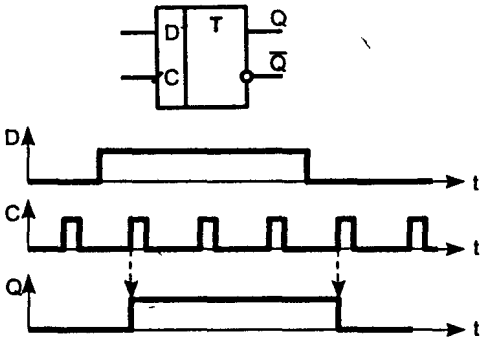


Рис. 14.27. Микросхемы многофункциональных триггеров

RS-триггером (561ТР2). Две остальные многофункциональны, но если у них дополнительные входы не использовать (т. е. подключить к общему проводу), а сигналы подавать только на R и S входы, то мы получим типичный RS-триггер.

В одном корпусе у микросхемы 561ТР2 имеется четыре независимых триггера, а дополнительный вход EZ (если на нем лог. 0) позволяет переводить выходы всех триггеров в Z-состояние.

D-триггер — имеет и другое название — **триггер с задержкой на такт** (типичный вид его показан на рис. 14.28). Вход D (data — информация) называется информационным, а вход C (clock — часы) — синхронизирующим. Работает триггер следующим образом. При подаче тактового импульса на вход C, представляющего собой, например, перепад логического сигнала из низкого уровня в высокий (об этом указывает наклонная черта у вывода, как показано на рис. 14.28) , происходит запись логического сигнала, установленного на входе D, в триггер. Логический сигнал, записанный в триггере, появляется на прямом и инверсном выходах (Q и $\overline{Q}$), как показано на временной диаграмме, представленной на том же рисунке.



Входы		Выход (Q)	
D	C	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
1	0	0	0
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	0

Рис. 14.28. D-триггер, диаграмма напряжений и таблица истинности, поясняю

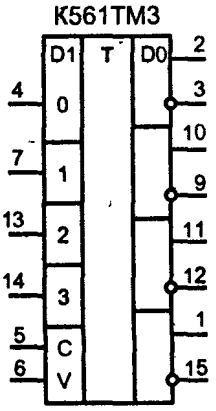
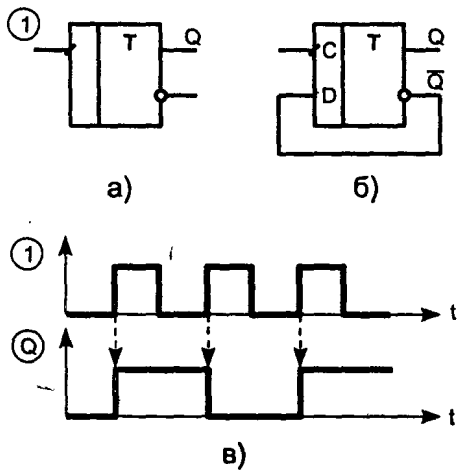


Рис. 14.29. D-триггер из серии 561

Среди микросхем 561 серии в режиме D-триггера могут работать 561ТМ2 (в этом случае входы R и S соединяются с общим проводом), 561ТВ1 (входы J и K объединяются и используются как D, а R и S соединяются с общим проводом), а также 561ТМ3 (рис. 14.29). Последняя микросхема содержит четыре триггера, имеющих индивидуальные входы D и два выхода (прямой и инверсный), но вход тактовый (C) у всех триггеров общий, к тому же имеется возможность переключать момент срабатывания триггеров при помощи входа V (если на нем низкий уровень — информация появится на выходе по переднему фронту на C, а если высокий — по заднему).

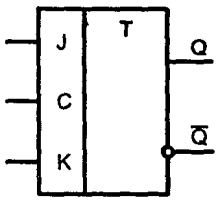
T-триггер легко сделать из D-триггера, соединив информационный вход и инверсный выход, как показано на рис. 14.30. Этот триггер обладает удивительным свойством — он делит на 2 частоту сигнала, поступающего на вход C. T-триггер находит применение в **счетчиках цифровых сигналов**, о которых мы поговорим чуть позже.



Вход	Выход (Q)	
T	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0
0	0	0

Рис. 14.30. Т-триггер (*а*), преобразование D-триггера в Т-триггер (*б*) и поясняющая его работу диаграмма (*в*)

JK-триггер — пожалуй, самый сложный и наиболее универсальный из всех, рис. 14.31. У него имеются информационные входы J и K, а также синхронизирующий вход C. Если на входах J и K установлены уровни логического нуля, тактовые импульсы, поступающие на вход C, не меняют состояния триггера. Установка хотя бы на один из входов логической единицы перебросит триггер в состояние, соответствующее таблице истинности. А вот если на оба входа подать логическую единицу и постоянно тактировать по входу C серией импульсов, то при приходе очередного импульса триггер будет перебрасываться в состояние, противоположное тому, в котором он находился до прихода этого импульса. То есть мы получим аналог Т-триггера.



C	J	K	Q	Примечание
⎍	0	0	-	блокировка
⎍	0	1	0	состояние "0"
⎍	1	0	1	состояние "1"
⎍	1	1	?	изменение на противоположное

Рис. 14.31. JK-триггер и таблица истинности, поясняющая его работу

Цифровые счетчики

Простейший **счетчик импульсов** можно построить, соединив каскадно несколько Т-триггеров, как показано на рис. 14.32. Каждая последующая ступень делит цифровой сигнал по частоте в 2 раза. С помощью такого счетчика можно зафиксировать 16 импульсов. Двоичный код на выходах будет меняться так, как показано в таблице на рис. 14.33 и на диаграммах напряжений, рис. 14.34. Обратите внимание: сигнал с выхода предыдущего триггера поступает на тактовый вход последующего. Такая схема построения счетчиков называется **асинхронной**.

Асинхронная схема обладает существенным недостатком при использовании в цифровых приборах с требуемой высокой частотой импульсов. Поскольку все триггеры срабатывают не одновременно — не синхронно — образуется задержка,

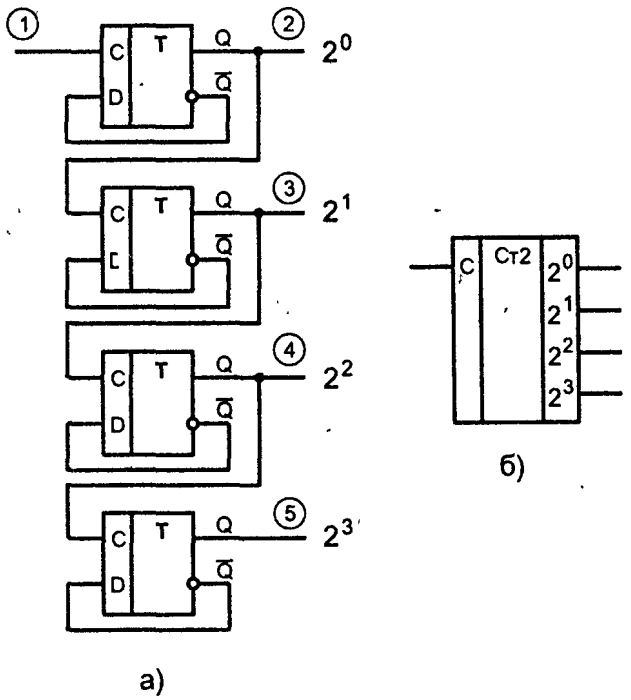


Рис. 14.32. Простейший 4-разрядный асинхронный счетчик, построенный на основе Т-триггеров

Двоичный счет				Десятичный счет
⑤	④	③	②	
8	4	2	1	
1	1	1	1	15
1	1	1	0	14
1	1	0	1	13
1	1	0	0	12
1	0	1	1	11
1	0	1	0	10
1	0	0	1	9
1	0	0	0	8
0	1	1	1	7
0	1	1	0	6
0	1	0	1	5
0	1	0	0	4
0	0	1	1	3
0	0	1	0	2
0	0	0	1	1
0	0	0	0	0

которая вносит погрешность в выходной результат. Чтобы повысить скорость счета, придумали **синхронные** счетчики, у которых тактовые входы объединяются, а остальные соединяются с применением дополнительных логических элементов. Все триггеры синхронного счетчика переключаются одновременно.

Счетчики бывают **реверсивные** и **нереверсивные**. Реверсивные могут считать импульсы, увеличивая или уменьшая значение двоичного кода на его выходах (например, К561ИЕ11, К561ИЕ14). Изменение направления счета, как правило, задается с помощью сигнала на отдельном входе, имеющего обозначение ± или ±1. Реверсивные счетчики могут генерировать увеличивающийся или уменьшающийся двоичный код. Многие счетчики имеют входы **предустановки**, которые позволяют «загрузить» в него определенный код и продолжить счет не от нулевого (или максимального) значения, а именно от этого кода.

Практически все счетчики имеют вход **сброса** (R), подача сигнала на который устанавливает выходы в исходное состояние, то есть нулевое, рис. 14.35. Все они считают импульсы, приходящие на вход, а некоторые имеют свободные логические элементы для выполнения задающего автогенератора в составе микросхемы (К176ИЕ5, К176ИЕ12). Есть счетчики, которые имеют внутри на выходе встроенный дешифратор двоичного ко-

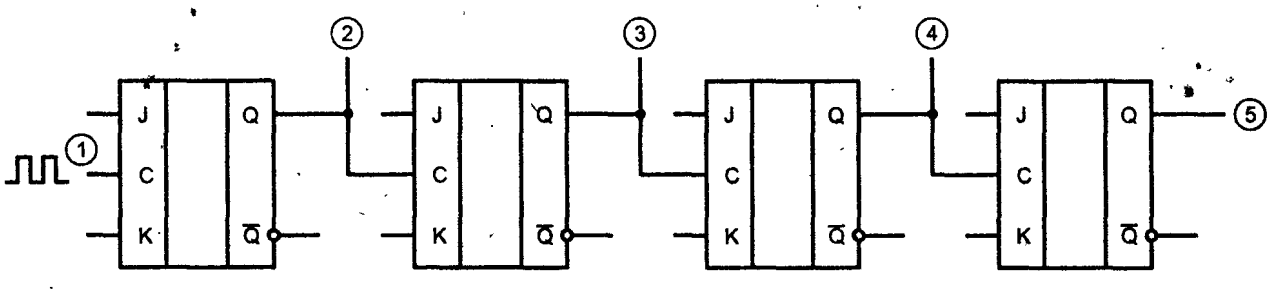


Рис. 14.33. Счетчик, состоящий из JK-триггеров, и счетная последовательность по модулю 16

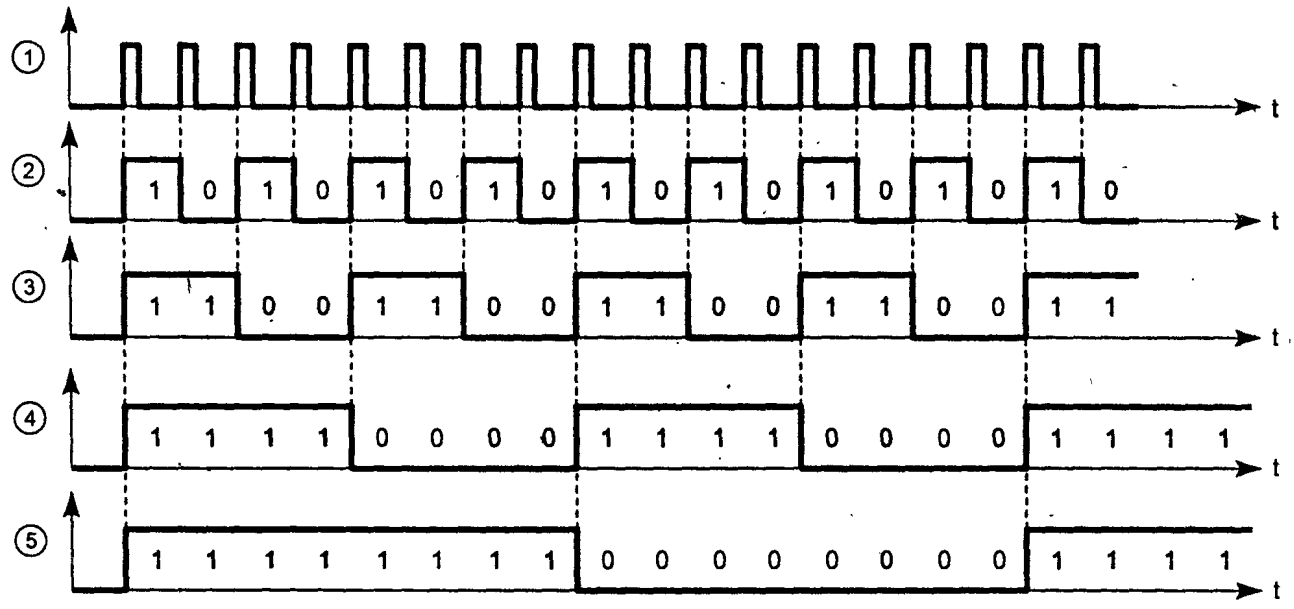


Рис. 14.34. Диаграмма, поясняющая работу счетчиков импульсов

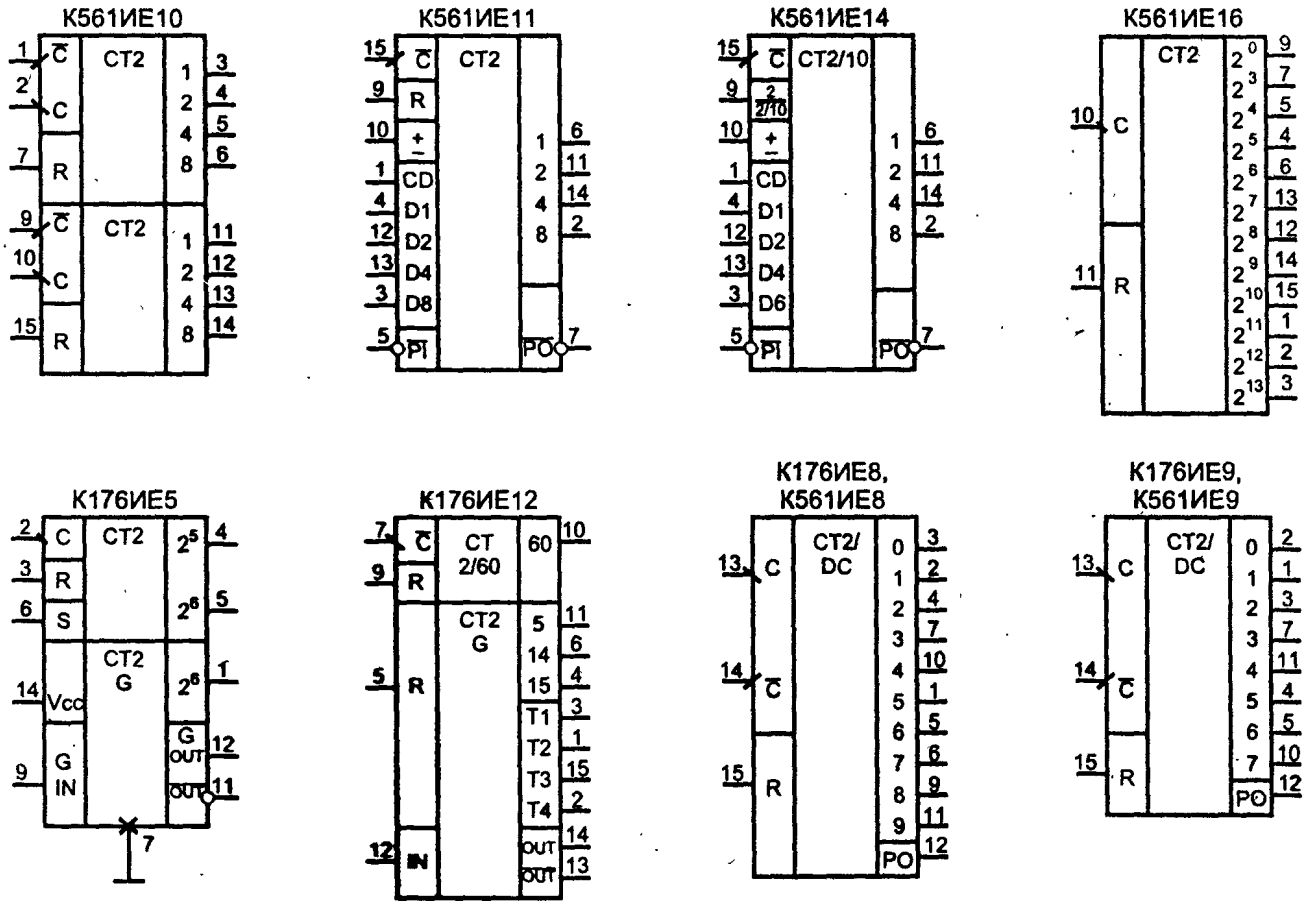


Рис. 14.35. КМОП микросхемы счетчиков

да в десятичный (например, К561ИЕ8 и К561ИЕ9). С особенностями работы таких счетчиков удобнее знакомиться на основе практических конструкций.

Интересными представителями этой группы логических «кирпичиков» считаются счетчики с переменным коэффициентом деления. Что это такое? Чуть выше мы рассмотрели 4-разрядный (тетрадный) двоичный счетчик. Не является ли излишним такое уточнение? Ничуть! Двоичный счетчик генерирует код, который легко представить в шестнадцатиричной системе, по шестнадцати состо-

яниям. Но существуют также и десятичные счетчики, которые, досчитав до 9 от 0, вновь начинают с нуля. Десять цифр просто представлены своим двоичным эквивалентом, и не более. Есть и счетчики с коэффициентами 8, 6, а есть и такие, которые могут стать и десятичными, и двоичными, и другими — по желанию разработчика. Со временем читатель познакомится с этими представителями элементов цифровой техники. ■

Разные регистры

Очень часто в цифровых схемах используются **регистры**. Регистры, в отличие от счетчиков, не подсчитывают количество импульсов, а используются для **накопления** и **сдвига** данных. Самый простой вид регистра — **сдвиговый**. Его устройство изображено на рис. 14.36, а диаграмма, поясняющая работу, показана на рис. 14.37. Тактовые импульсы, поступающие на вход С, сдвигают цифровой сигнал слева направо. Сдвиговые регистры удобно использовать для преобразования последовательного цифрового кода в параллельный, когда код последовательно, бит за битом, «заталкивается» в регистр тактовыми (стробирующими) импульсами. Код появится в параллельном виде на выходах «2»...«5», и его можно будет считать с этих выходов за один раз, то есть **параллельно**.

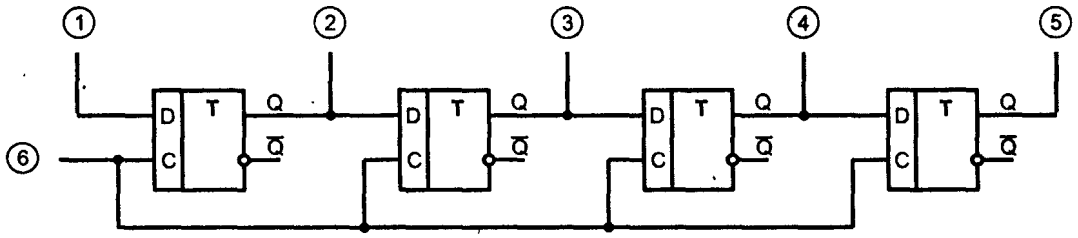


Рис. 14.36. Сдвиговый 4-разрядный регистр

Регистр сдвига легко превратить в **параллельный кольцевой регистр**. Для этого достаточно соединить выход «5» со входом «1» и ввести выводы параллельной загрузки двоичного кода в регистр. При подаче тактовых импульсов код будет «циркулировать» по регистру, то есть перемещаться в нем по кольцу.

Линейка RS-триггеров может образовать **регистр-защелку**, в которук можно загрузить данные в параллельном виде, однако сдвиг данных в регистре-защелке не предусматривается Этот вид логического устройства используется в качестве **статической памяти**.

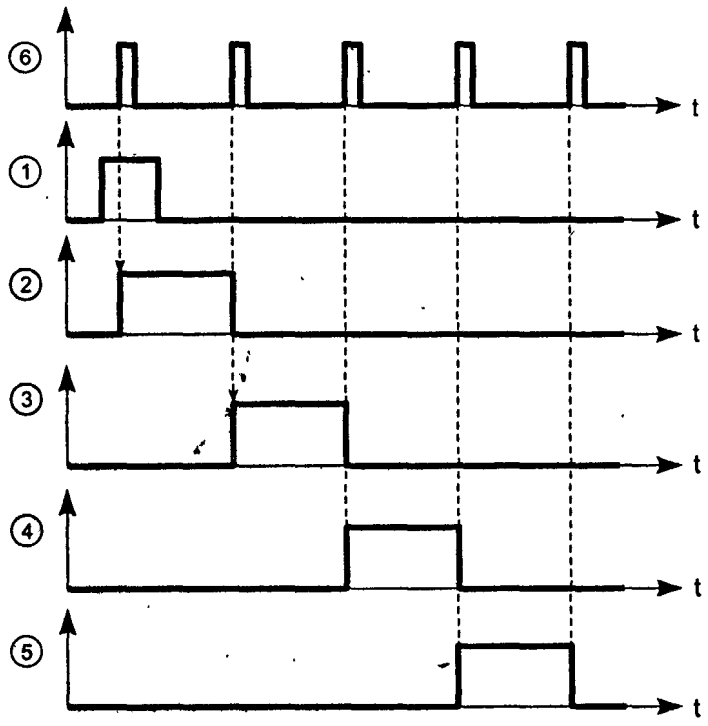


Рис. 14.37. Диаграмма, поясняющая работу сдвигового регистра

Преобразователи кодов сигналов

Иногда появляется необходимость преобразовать двоичный код в какой-либо другой, который может быть использован для непосредственного управления цифровым индикатором или для других целей. Несколько реже встречается задача преобразования какого-либо кода в двоичный код. Для этих целей используются **дешифраторы** и **шифраторы**.

Наиболее часто в радиолюбительской практике встречается два вида дешифраторов. Условное обозначение обоих видов различается мало. На рис. 14.38, *а*, показан первый вид дешифратора. Работает он следующим образом. При подаче на выводы «А0»...«А3» двоичного кода, на одном из выходов «0»...«9» появится сигнал лог. 1. Например, при подаче двоичного кода соответствующего цифре «5», на выходе «5» появится высокий уровень сигнала, а на всех остальных выходах — низкий. И так далее.

Второй вид дешифратора имеет такие же входы и выходы, но при подаче на входы двоичного сигнала на выходах будет появляться на первый взгляд бессмысленная комбинация сигналов. Но если подключить к выходам по определенному правилу, указанному в документации на дешифратор (например, по рис. 14.38, *б*), цифровой семисегментный индикатор, на нем появятся цифры, соответствующие вводимому коду.

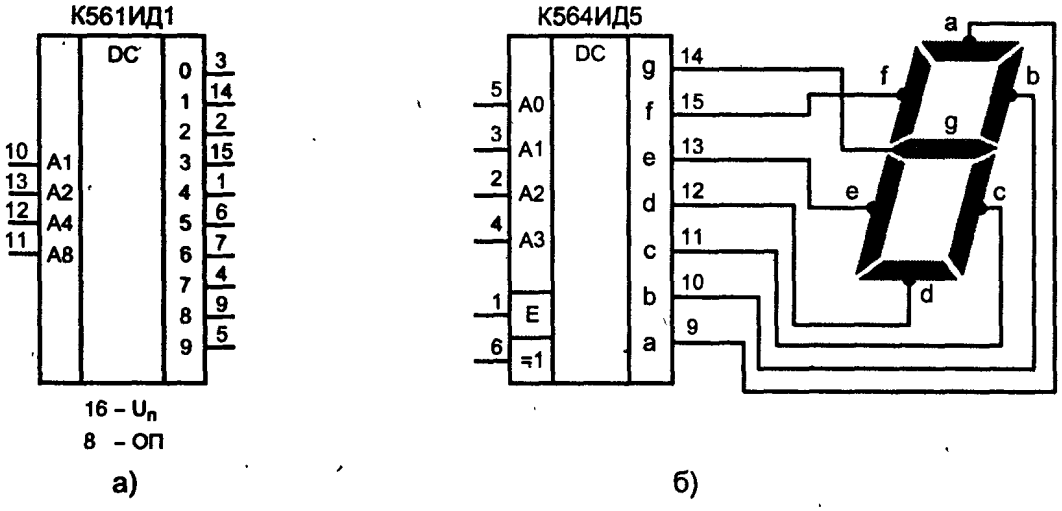


Рис. 14.38. Микросхемы дешифраторов:
***а* — десятичного кода; *б* — для управления цифровым индикатором**

А теперь несколько слов о шифраторах. Этот элемент очень похож на дешифратор первого вида с той лишь разницей, что входы становятся выходами, а выходы — входами. Двоичный код здесь не управляет элементом, а генерируется им. ■

Коммутаторы цифровых и аналоговых сигналов

Вы уже знаете, что в аналоговой схемотехнике для коммутации сигналов используются переключатели. И, если нужно один единственный сигнал подавать то на одну схему, то на другую, применяется переключатель «на несколько положений» — так называемый многоканальный переключатель. В цифровой технике для этих целей используются **мультиплексоры** и **демультиплексоры**.

У мультиплексора имеется несколько входов и один выход. Переключение осуществляется с помощью двоичного кода, подаваемого на специально предусмотренные входы. Отличие демультиплексора от мультиплексора заключается в том, что у демультиплексора один вход и несколько выходов. В остальном он подобен мультиплексору.

Созданы и специальные аналоговые мультиплексоры (коммутаторы), управляемые цифровыми уровнями, — они более близки к механическим включателям и применяются довольно часто. Для таких элементов безразлично, какой из выводов ключа будет являться входом, а какой выходом, а во включенном состоянии сам канал имеет маленькое сопротивление (20...100 Ом). Такое сопротивление часто можно не учитывать. Аналоговые коммутаторы более универсальны, так как могут передавать не только цифровые, но и любые другие сигналы, важно только, чтобы они не превышали напряжения питания для микросхемы (рис. 14.39).

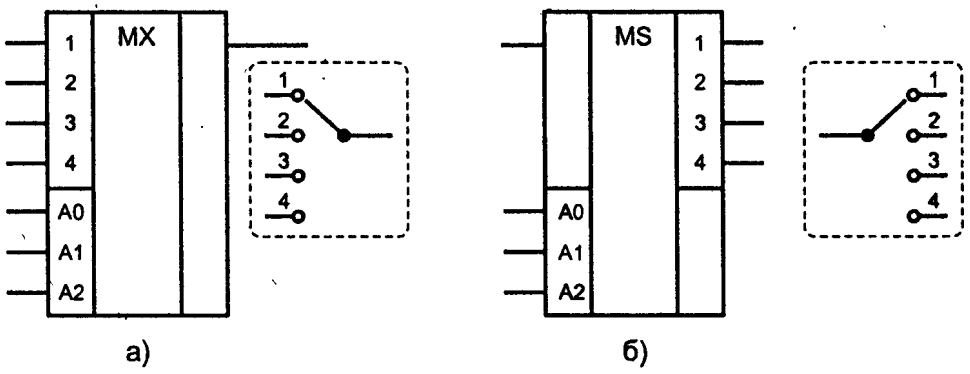


Рис. 14.39. Обозначение и внутренняя структура часто используемых коммутаторов из серии 561

* * *

Мы не будем рассматривать большой класс логических элементов, называемых **арифметическими устройствами**. Сюда входят: **полусумматоры, полные сумматоры, полувычитатели, полные вычитатели, интегральные сумматоры, двоичные умножители** и некоторые другие устройства. В радиолюбительском творчестве они встречаются крайне редко, и в последнее время, когда стали доступны дешевые **микроконтроллеры**, необходимость в этих устройствах практически отпала. ■

Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи

Разделяет не пропасть, а разница уровней.

Станислав Ежи Лец

Сегодня большое распространение получили цифровые измерительные приборы, которые показывают на дисплее значения напряжения, тока, частоты, сопротивления и так далее — в цифровом виде. Информация сразу выдается в нужных единицах, например в микровольтах или килоомах. Не нужно за-

думываться о коэффициентах пересчета показаний, о цене деления шкалы. Все эти операции выполняются цифровым прибором автоматически. Удобно? Кто бы сомневался, что цифровая техника может творить чудеса!

Но возникает важный вопрос: если аналоговая и цифровая техника столь далеко отстоят друг от друга по принципам построения, то каким образом с помощью всего двух уровней электрического сигнала можно измерять аналоговые величины? Очевидно, необходимо осуществить преобразование одного сигнала в другой.

Представим, что в нашем арсенале есть «черный ящик», называемый **аналого-цифровым преобразователем** (АЦП), имеющий один вход и несколько выходов, как показано на рис. 14.40, *а*. При подаче на вход определенного уровня сигнала на выходных контактах появится двоичный код. «Ящик» устроен так, что при подаче на вход сигнала от нулевого уровня до максимально оговоренного, будет меняться выходной двоичный код, причем в комбинациях кода отсутствует повторение. Процедура преобразования аналогового сигнала в двоичный цифровой код имеет одну важную особенность, о которой надо сразу упомянуть. Вдумайтесь: число кодовых комбинаций ограничено, а входной сигнал имеет бесконечное множество возможных значений. Договорились разбить диапазон, на котором происходит преобразование, на участки, количество которых равно числу возможных кодовых комбинаций, и считать измеренным значение, занимающее середину этого малого отрезка. Сигнал приобретет ступенчатый вид, и эта ступенчатая кривая будет тем больше приближаться к исходной непрерывной кривой, чем больше отрезков удастся набрать. Графически это «ступенчатое» преобразование изображено на рис. 14.40, *б*.

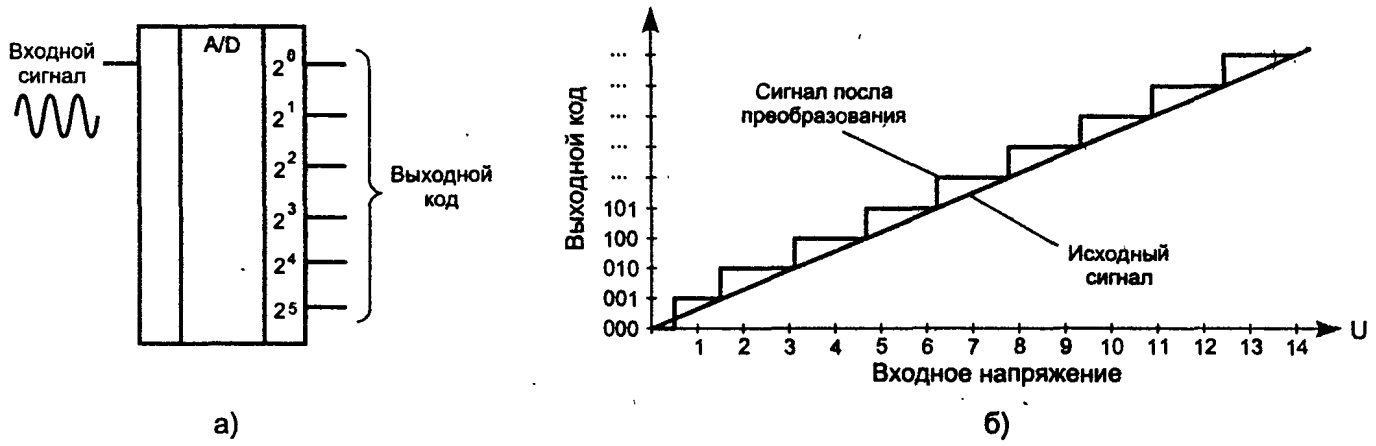


Рис. 14.40. Аналого-цифровой преобразователь (*а*) и график, поясняющий его работу (*б*)

Полученный код можно занести в память компьютера, преобразовать его в десятичные цифры и выводить на индикатор. Достоинство такого способа заключается в возможности запоминания не только однократного измерения, но и серии измерений, скажем, зафиксировать изменение сопротивления в течение суточных колебаний температуры.

А возможно ли обратное преобразование цифрового сигнала в аналоговый? Да, и оно встречается очень часто. Вспомните хотя бы музыкальные компакт-диски, отличающиеся потрясающим качеством звуковоспроизведения, отсутствием «старения» с течением времени, которое наблюдается у «аналого-

вых» виниловых дисков и магнитной ленты. Сигнал хранится на компакт-диске в виде кодовой последовательности и, поданный на **цифроаналоговый преобразователь** (ЦАП), превращается в звуковые колебания (рис. 14.41). Выходной сигнал ЦАП, в соответствии с законом конечности кодовых комбинаций, имеет ступенчатую форму, но в случае с компакт-диском количество кодовых комбинаций выбирается таким, чтобы эти «ступеньки» не были заметны на слух.

Внешне ЦАП и АЦП выглядят как обычные микросхемы, их даже можно спутать друг с другом по изображению на принципиальных схемах, настолько они похожи! Различать эти микросхемы можно, как всегда, по маркировке на корпусе и по надписям на графических изображениях в принципиальных схемах: D/A (ЦАП), A/D (АЦП).

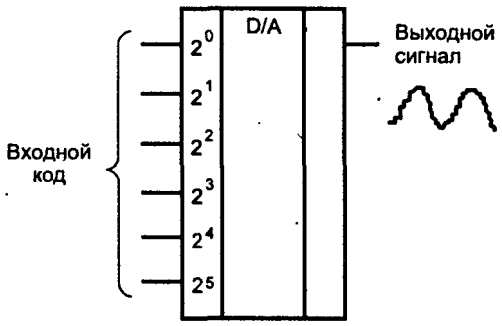


Рис. 14.41. Цифроаналоговый преобразователь

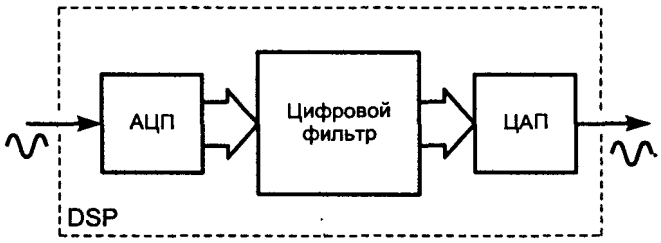


Рис. 14.42. Канал цифровой фильтрации

Преобразователи отличаются друг от друга по скорости преобразования сигнала в код и кода в сигнал, точности преобразования, температурной стабильности. В настоящее время разработаны АЦП, способные преобразовать в коды сигнал с частотой в сотни МГц.

Преобразователи с высокой степенью стабильности и точности считаются уникальными, дорогостоящими элементами, поэтому перед созданием конкретного устройства с применением преобразователей надо прежде всего оценить требования к точности и по возможности использовать не высокоточные элементы, а стандартные.

Важным параметром ЦАП и АЦП является их **разрядность** — количество бит цифрового кода, выдаваемого на выходе ЦАП или получаемого со входа АЦП. Чем выше разрядность, тем с более высокой точностью можно осуществлять преобразования сигналов. Широко распространены 8- и 10-разрядные преобразователи. ЦАП и АЦП с разрядностью более 12 бит считаются высокоточными, а следовательно, дорогостоящими.

В последнее время преобразователи ЦАП и АЦП, встроенные в специальное устройство — **цифровой сигнальный процессор** (DSP), — стали широко применяться в устройствах фильтрации и обработки аналоговых сигналов (рис. 14.42). Преобразовав с помощью АЦП сигнал в цифровой код, можно подвергнуть его обработке по определенным правилам, например, «завысить» высокие частоты или убрать помехи, трески, шумы. Общее название этих операций — **цифровая фильтрация**. Затем, после фильтрации, с помощью ЦАП восстановить аналоговый сигнал.

Где находит широкое применение цифровая фильтрация? Подавляющее большинство систем сотовой связи оснащено такими фильтрами, поскольку намного проще изготовить цифровой фильтр с высокой стабильностью параметров фильтрации, чем проектировать аналоговые фильтры, требующие серьезной настройки. Цифровые фильтры, кроме того, оказываются намного компактнее аналоговых. ■

Современные микроконтроллеры и их место в радиоаппаратуре

Там, где прежде были границы науки, теперь ее центр.

Лихтенберг

Сегодня, если мы скажем, что миниатюрный программируемый вычислитель — микропроцессор или микроконтроллер — занимает в современной аппаратуре центральное место, то не слишком отклонимся от истинного положения вещей. Речь идет именно о **программируемых** вычислителях, а не об устройствах типа электронных калькуляторов. Своему современному виду, структуре и принципам действия компьютерная техника во многом обязана **Джону фон Нейману**, который разработал концепцию хранения программы, исходных данных, промежуточных и окончательных результатов непосредственно внутри компьютера.

Давайте рассмотрим классическую фон неймановскую структуру, изображенную на рис. 14.43. Информация в буквенно-цифровом, графическом, двоичном или ином видах вводится через **устройство ввода** в **память** компьютера, специально отведенную для хранения данных. В этой же памяти, но в другом ее месте, хранится **программа** — последовательность инструкций, предписывающая компьютеру производить определенные действия с данными. Инструкции программы выполняет центральная часть компьютера — микропроцессор. Подчиняясь инструкциям, как раб подчиняется своему хозяину, микропроцессор извлекает данные из памяти, обрабатывает их и вновь возвращает в память. Специальные инструкции могут предписать микропроцессору отправить данные на **устройство вывода**. На сегодняшний день имеется столько разнообразных устройств вывода, что всех их упомянуть в книге представляется сложной

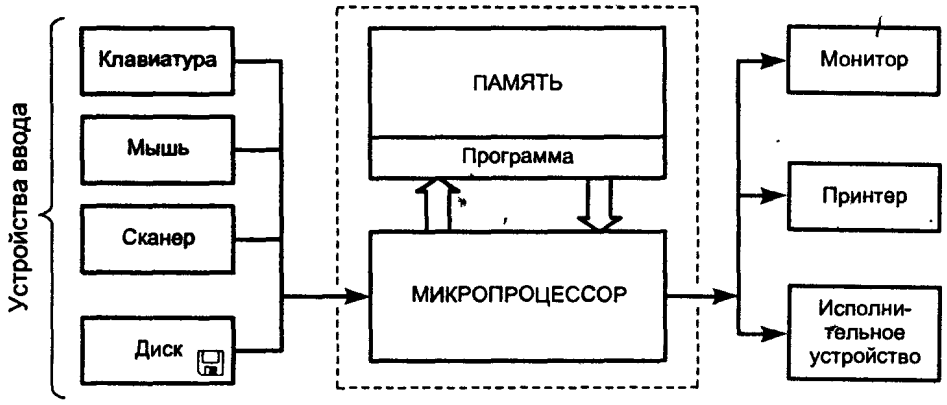


Рис. 14.43. Структура классического компьютера

задачей. Устройства могут быть классическими, хорошо всем известными, например буквенный или графический монитор, принтер, графический плоттер, звуковой порт. Могут быть и другие варианты: цифроаналоговый преобразователь, металлообрабатывающий станок с программным управлением, реле управления мощными электродвигателями, блок активных датчиков. Любой персональный компьютер построен так, что можно, быстро сменив устройство ввода или вывода, перезагрузив программу, изменив объем памяти, настроить вычислитель на решение совершенно другой задачи. Запомните: компьютер — это универсальный гибкий прибор.

А теперь разберемся, может ли существовать микропроцессор отде... других частей компьютера? Классический микропроцессор не имеет внутри ни памяти, ни устройств ввода-вывода, называемых по-другому **периферийными устройствами**. Отдельный микропроцессор, извлеченный из компьютера, — это бесполезная микросхема, которую не удастся использовать ни в каком качестве, разве что подложить ее под ножку неустойчивого стола. Микропроцессор «умеет» только распознавать инструкции программы, работать с данными и пересылать их. Конечно, знатоки компьютеров могут возразить, напомнив, что все современные процессоры имеют так называемую встроенную **кэш-память**. Однако кэш-память используется только как вспомогательная для ускорения работы процессора и постоянно не хранит результатов вычислительного процесса.

Что процессор делает с данными, например с двумя двоичными числами, извлеченными из памяти? Как ни странно, но простейшие операции, которые мы рассматривали в этой главе, — сложение, вычитание, умножение, деление, сравнение, перестановка битов... Есть еще другие простые служебные операции, о которых мы здесь не упоминаем, поскольку в наши планы не входит рассказ о работе конкретных процессоров. Суть в другом: процессор выполняет эти операции намного быстрее, чем человек «вручную», а значит, не приходится тратить время на механическую работу, посвящая высвободившееся время собственно творческим задачам.

Итак, мы разобрались в роли процессора как вычислительного устройства компьютера. И все хорошо, когда мы, сидя дома, в школе, в колледже, в институте, на работе, используем персональный компьютер для расчетов по математическим формулам, для подготовки текстовых документов, для поиска в Интернете, для игр в конце концов. Компьютер никуда не надо передвигать, он стоит себе на столе, жужжит своими вентиляторами, мигает светодиодами, трещит дисководами и радует глаз насыщенными красками монитора. А если компьютер понадобился, например для расшифровки кода автомобильной сигнализации, получаемого от брелка-«лентяйки», и управления замками дверей? Если объемы электронного прибора малы, а его стоимость должна быть на порядки меньше стоимости «персоналки»? Если требуются гораздо более скромные вычислительные способности, немного памяти и элементарные устройства ввода-вывода в виде нескольких цифровых выходов? Классический настольный персональный компьютер окажется здесь слишком расточительным!

К счастью, профессиональные разработчики, которым была поставлена такая задача, предложили очень интересную техническую идею. Они упростили микропроцессор, исключили из него ненужные «куски», но расположили на этом же кристалле и память небольшого объема, и простые периферийные устройства типа задатчиков интервалов времени — **таймеров**, цифровых линий ввода-вывода — **портов**, вспомогательных аналоговых устройств типа ЦАПов, АЦП, компараторов. В некоторых случаях была оставлена возможность расширения памяти, в других же такую возможность исключили. Также разработчики отказались от возможности выводить информацию на дисплей, принтер и другие сложные устройства. И компьютер превратился в **однокристальный микроконтроллер** — самостоятельное устройство в виде отдельной микросхемы, которое уже стало возможным применять в электронных приборах. Перестраивать микроконтроллер на решение другой задачи довольно сложно, так как в нем не предусмотрена оперативная замена программ. Но этого и не нужно — в подавляющем большинстве случаев микроконтроллер устанавливается в прибор раз и навсегда.

Микроконтроллеры — это недорогие электронные компоненты. Их рынок сейчас стремительно развивается. Многие фирмы, в том числе и несколько отечественных, предлагают тысячи разных микросхем с разнообразным внутренним устройством, быстродействием, возможностью многократной перезаписи программ или однократного программирования. Микроконтроллеры сегодня — это не предмет заоблачных радиолюбительских мечтаний, а вполне реальные возможности, доступные по финансовым и техническим соображениям практически всем. Необходимо только приобрести немного практического радиолюбительского опыта в отладке более простых цифровых схем, после чего можно учиться программированию, работать с микроконтроллерами «живьем». Надеемся, что читатели этой книги тоже заинтересуются миром вычислительной техники и попробуют свои силы в разработке радиолюбительских схем с использованием компьютерной техники. Одним из примеров использования микроконтроллеров в радиолюбительском творчестве может служить книга [7]. ■

Интересные факты и цифры

Прошлое не мертво. Оно даже не прошлое.

Фолкнер

Компьютер уже обогнал автомобиль

К тридцатилетнему юбилею персонального компьютера на основе процессоров Intel, которое было отмечено в 2001 г., оказалось, что в мире продано больше компьютеров с процессорами фирмы, чем автомобилей, произведенных за все время существования этого популярного вида транспорта. Сегодня современный автомобиль содержит более 20 встроенных микроконтроллеров, которые при помощи датчиков следят за состоянием узлов и управляют их работой. ■

Чистота — залог здоровья... микропроцессоров!

При производстве микропроцессоров необходимо, чтобы люди, участвующие в этом процессе, были настолько же чистыми, как и помещения, в которых они работают. Это связано с тем, что микропроцессор состоит из миллионов микроскопических транзисторов. Самая малая пылинка, оказавшаяся на кристалле, подобна гигантскому монстру: она блокирует схемы микропроцессора, полностью выведет его из строя. Сверхчистые помещения, в которых изготавливаются микропроцессоры, называются «чистыми комнатами». «Чистая комната» первого класса — самая чистая и содержит не более одной пылинки на кубический дециметр. ■

История процессоров — история Intel

1971 — Intel 4004. Четырехразрядный, ставший первым в семействе процессоров, выпущенных на рынок этой компанией.

1972 — Intel 8008. По сравнению с предыдущим разрядность процессора возросла вдвое.

1974 — Intel 8080. Десятки тысяч компьютеров «Альтаир» на основе этого процессора разошлись за несколько месяцев, образовав небывалый спрос на персональные компьютеры.

1978 — Intel 8086, Intel 8088. Появление архитектуры IBM PC.

1982 — Intel 286. Знаменитый компьютер «двойка».

1985 — Intel 386. Не менее знаменитая «тройка». Заложена 32-разрядная архитектура и возможность работы многозадачных операционных систем.

1989 — Intel 486. «Четверка». Встроенный математический сопроцессор существенно ускоряет обработку данных, не нагружает центральный процессор. Появление многозадачных графических систем типа Windows.

1993 — Intel Pentium. Повышается тактовая частота, появляется возможность обработки в реальном времени не только статических объектов, но и движущихся изображений.

1995 — Intel Pentium Pro. Процессор для компьютеров, использующихся для сложных профессиональных расчетов в промышленности и науке. Быстродействие увеличено.

1997 — Intel Pentium II. Возможность работы с любой «графикой», в том числе и с трехмерной.

1999 — Intel Pentium II Xeon. Дальнейшее повышение скорости обработки информации.

1999 — Intel Celeron. Упрощенная версия вышеназванного процессора для недорогих домашних персональных компьютеров.

1999 — Intel Pentium III. Скорости растут...

1999 — Intel Pentium III Xeon.

2000 — Intel Pentium 4.

2001 — Intel Xeon.

2001 — Intel Itanium. Новая архитектура с параллельной обработкой информации.

Появление новых процессоров сегодня происходит с такой скоростью, что только периодические компьютерные издания успевают сообщать о них специалистам. ■

Почем пентиум для народа?

Первые компьютеры были столь же феноменально дороги, сколь и замечательно новы. Первый изготовленный в Америке компьютер — ENIAC — обошелся правительству США примерно в три миллиона долларов, хотя имел вычислительную мощность, сравнимую с примитивным современным карманным микрокалькулятором. Для того чтобы сделать возможным повсеместное использование компьютеров, стоимость вычислений нужно было уменьшить. С 1947 по 1987 г. транзисторы

и интегральные схемы снизили стоимость одного элементарного логического элемента в сто тысяч раз. Ту же вычислительную мощность, которая когда-то стоила три миллиона долларов США, стало возможно приобрести всего за 30 долларов!

Сегодняшний рынок компьютерной техники — это множество фирм-производителей, масса магазинов и торговых предприятий. Наращивание мощности, появление новых устройств типа «материнских плат», процессоров, видеоадаптеров, винчестеров, приводов CD-ROM приводят к постоянной смене компьютерного «железа». То, что стоило пару лет назад $100, сегодня стоит на рынке уже $10. Соответственно, устаревшие модели дешевеют, становятся доступнее тем, кто не мог себе позволить текущий «брэнд». Замечено, что так называемый «брэнд» в мире компьютеров — модель, соответствующая передовому уровню технических решений, стоит во все времена примерно одинаково: порядка $1000. Когда-то столько стоил Pentium-100, теперь столько стоит Pentium-IV. ■

Первая женщина-программист

«Под словом «операция» мы понимаем любой процесс, который изменяет взаимное соотношение двух или более вещей... Аналитическая машина воплощает в себе науку операций» — так писала в 1843 г. разносторонне развитая женщина Августа Ада Лавлейс, дочь знаменитого поэта Дж. Байрона, комментируя статью изобретателя Чарлза Беббиджа. Августа Лавлейс не только переводила статьи о вычислительных машинах на разные языки, но и дополняла их собственными комментариями, свидетельствующими о замечательном понимании ею принципов работы таких устройств. Кроме того, она привела ряд примеров практического использования машин. Терминология, которую ввела Августа Лавлейс, и сегодня используется программистами. Ей принадлежат термины «рабочие ячейки», «цикл» и некоторые другие. ■

Мышь — это не только животное

Знаменитая «мышь», которой пользовались все, кто хоть раз работал на компьютере, она же «индикатор позиций X и Y на экране», она же «манипулятор», появилась в 1964 г. Ее изобрел Дуглас Карл Энгельбарт из Стэнфордского исследовательского института. Первая мышь выглядела совершенно непривлекательно. Это была деревянная коробочка, которая перемещалась по столу на колесиках, отсчитывая их обороты и развороты. Затем информация вводилась в компьютер и управляла перемещением курсора на экране.

В дальнейшем механизм «мыши» стал совершенствоваться, и в 1982 г. появилась «оптическая мышь». В ней на смену шарикам и колесикам пришла сложная оптика. Но «оптическая мышь» нуждалась в специальном, размеченном клетками коврике, что значительно удорожало это новшество и не способствовало в те годы его широкому распространению. Однако идея избавиться от провода, связывающего компьютер с «мышью», все же не оставляет разработчиков. В 1998 г. корпорация Microsoft представила на рынке очередную «оптическую мышь», в которой роль системы, отслеживающей движение, выполняет мини-камера, а коврик вообще не нужен — подойдет поверхность любого стола. В отличие от шариковой мыши, в оптической засоряться пылью нечему, что избавляет от хлопот по обслуживанию. Стоит такая «мышь» в 5—7 раз дороже, чем классическая механическая, но все равно объемы ее продаж высоки.

Чуть позже появилась разновидность, называемая «беспроводная интеллектуаль-

ная мышь-проводник». Как и было в предшественнице, роль «чувствительного элемента» исполняет цифровая видеокамера, сканируя поверхность коврика с частотой 6 кГц и анализирующая полученное изображение. ■

Клавиатура как устройство ввода информации

Компьютерная клавиатура, которая сегодня является основным способом «общения» человека и компьютера, унаследована от механических печатных машинок. Естественно, в расширенном варианте, с добавлением кнопок. Но вот откуда взялась такая необычная последовательность букв, расположенных не в алфавитном порядке, а вроде «как Бог на душу положил» — бессистемно? Данный расклад имеет наименование «qwerty» по последовательности верхнего левого ряда букв.

Такой расклад появился в 70-х гг. XIX в. Патент на него получил англичанин **Кристофер Шоулз**. Классическое расположение «abcdef» в то время несовершенных печатных машинок приводило к тому, что литые брусочки с буквами, которые оставляли отпечаток на бумаге, постоянно цеплялись друг за друга. Нужно было создать такой расклад, при котором любые две буквы, комбинация которых наиболее часто встречается в английском языке, чередовались малоупотребимыми или неупотребимыми сочетаниями. Английский алфавит был проанализирован с этой точки зрения и родился вариант «qwerty». ■

Чипизация — шаг в будущее?

Несколько американских электронных компаний заявили, что ими разработан микрокомпьютер, который можно вживлять человеку под кожу. Зачем? Этот микрокомпьютер может хранить персональные данные, например, сведения о состоянии здоровья, банковские реквизиты счета, номера телефонов и другую информацию. С помощью таких чипов возможно отследить траекторию перемещения его владельца. Эксперименты, финансируемые министерством обороны США, проводятся в одном студенческом городке: студенты могут получать информацию о перемещениях друг друга, автоматические системы слежения предупреждают о лекциях и встречах.

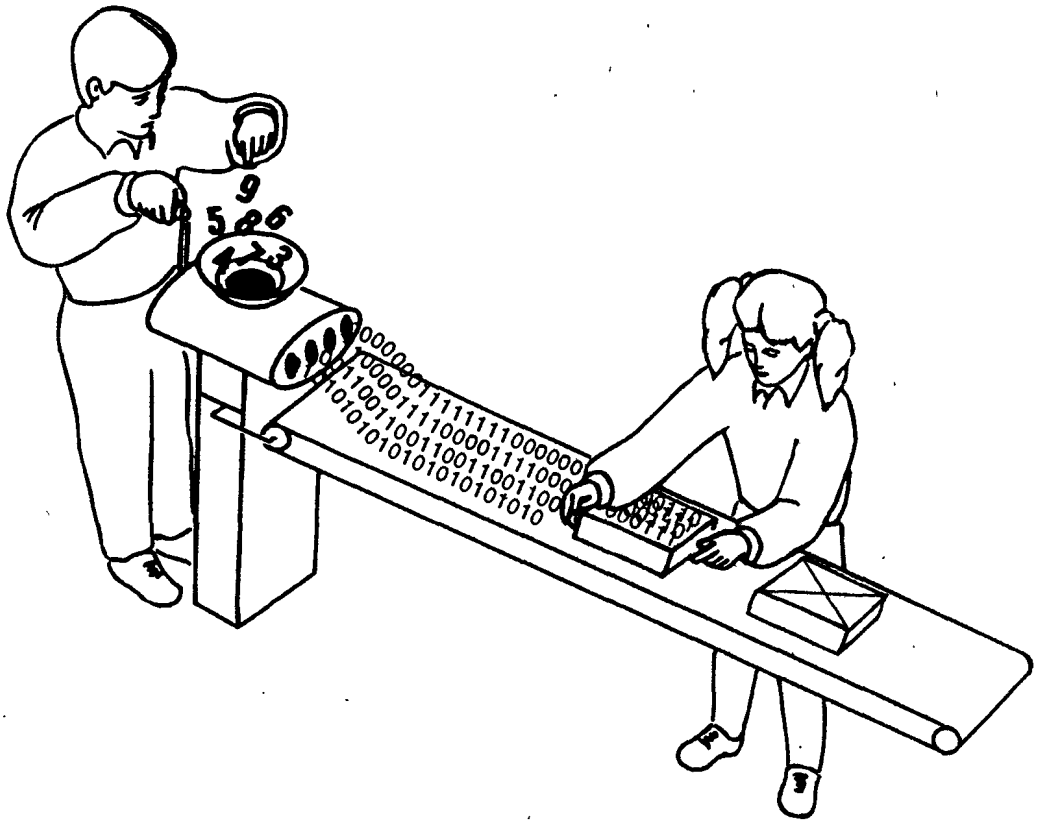
Знакомая читателям компания IBM сегодня также работает на рынке микрокомпьютеров — она разрабатывает так называемую «цифровую бижутерию» — серьги, кольца, брошки, запонки, галстучные булавки. Эти устройства, не нарушая внешнего вида человека, позволят более полно использовать его рабочее время.

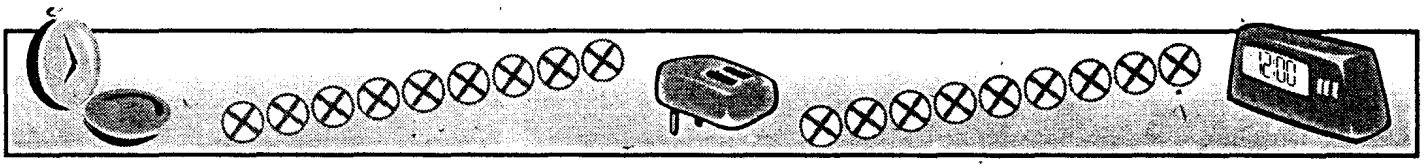
Калифорнийская компания VivoMetrics специализируется в области медицинских датчиков. В одежду вшиваются электроды, которые контролируют состояние здоровья владельца и его местонахождение. Датчики через специальную сеть могут обратиться к медикам, которые тут же дадут полезные советы. Кроме того, чипы могут использоваться для поиска пропавших детей и людей, страдающих старческой забывчивостью.

Если технические вопросы в данном случае считаются практически решенными, то вопросы юридические еще не решены. Контроль места нахождения человека — это вторжение в его личную жизнь, нарушение естественного права на эту жизнь. Пока речь идет о добровольном использовании вживленных чипов, но кто знает, может, в будущем эти промышленные корпорации, продвигая свой бизнес, узаконят обязательную «чипизацию» населения. Ведь массовое вживление электронных микрокомпьютеров — очень выгодный заказ. ■

Литература

1. *Шило В. Л.* Популярные **цифровые** микросхемы. — М.: Радио и связь, 1988.
2. *Шелестов И. П.* **Радиолюбителям**: полезные схемы. Книга 2. — М.: СОЛОН-Р, 2001.
3. *Бирюков С. А.* **Цифровые устройства** на МОП-интегральных микросхемах. 2-е **изд.** — **М.: Радио и** связь, 1996.
4. *Партин А. С., Борисов В. Г.* Введение в цифровую технику. — М.: Радио и связь, 1987.
5. *Токхайм Р.* **Основы цифровой** электроники. — М.: Мир, 1988.
6. *Семенов Б. Ю.* **Современный** тюнер своими руками: УКВ стерео + микроконтроллер. — **М.**: СОЛОН-Р, 2001.
7. *Семенов Б. Ю.* **Шина** I^2C в радиотехнических конструкциях. — М.: СОЛОН-Р, 2002.





Глава 15

Устройства, полезные в быту

Существует немало электронных устройств, которые способны сделать более удобной и приятной нашу жизнь. Все, что нужно покупать в магазине уже готовым, — затруднительно или же слишком дорого. В то же время никто не помешает некоторые из таких устройств сделать самостоятельно. В этой главе вы познакомитесь с простейшими практическими конструкциями, которые легко можно изготовить в домашних условиях. ■

Простейшие зарядные устройства

Недостаточно только получить знания:
надо найти им приложение.

Иоганн Вольфганг Гете

В настоящее время в качестве элементов питания все более широко применяются аккумуляторы. При интенсивной эксплуатации автономных устройств с аккумуляторами, несмотря на то, что стоят они дороже, в итоге питание обходится дешевле, чем если каждый раз тратить деньги на новые батарейки. Во многих устройствах из-за своей относительно невысокой цены используются никель-кадмиевые (NiCd) и никель-металл-гидридные (NiMH) аккумуляторы. Они способны работать в диапазоне температур от −20 до +45 °С и от −20 до +60 °С, соответственно. А число циклов перезарядки при правильной эксплуатации составляет для NiCd аккумуляторов — 500...1000; для NiMH — несколько тысяч. К сожалению, несмотря на все достоинства, такие аккумуляторы имеют значительный ток саморазряда. Потеря запасенной энергии в месяц составляет от 10 до 30%. При увеличении окружающей температуры на каждые 10 °С ток саморазряда удваивается, и если оставить элемент без работы на 3—4 недели, он окажется практически разряжен. Поэтому рекомендуется выполнять заряд таких аккумуляторов непосредственно перед использованием.

Заряжать аккумулятор можно продолжительное время (10...15 ч) или быстро (за 1...2 ч). Установлено, что при медленном заряде оптимальным (с точки зрения проходящих внутри электрохимических реакций) является ток, составляющий 10% от номинальной емкости Q, то есть $I_{ЗАР} = 0{,}1 \cdot Q$. В этом случае не обязательно индицировать окончание процесса зарядки — достаточно выдержать

интервал времени 15 ч, и элемент наберет 100% своей номинальной емкости. При таком режиме заряда срок службы аккумуляторов будет максимальным.

Иногда нет времени столько ждать — требуется более быстрый заряд. Чтобы этого добиться, ток заряда увеличивают в 1,2 раза от номинальной емкости ($I_{ЗАР} = 1{,}2 \cdot Q$). В этом случае аккумулятор сможет получить только 80% своей емкости (для ее увеличения до 100% рекомендуется дальнейшая подзарядка малыми токами $0{,}05 \cdot Q$). К тому же при быстром заряде необходимо следить за состоянием аккумулятора, чтобы вовремя прекратить процесс. Проще это делать, контролируя напряжение на элементе, — по мере заряда оно постепенно растет и достигает максимума, после чего начинает так же медленно немного снижаться (из-за сильного внутреннего саморазогрева). Как только начался процесс снижения напряжения на элементе (или его перегрев), зарядку надо прекращать.

Большинство зарядных устройств предусматривает работу от обычной бытовой сети (220 В, 50 Гц) и понижает напряжение до нужного уровня. Давайте рассмотрим, как можно самостоятельно изготовить зарядные устройства для различных применений. ■

Малогабаритные бестрансформаторные

Бестрансформаторное зарядное устройство есть смысл сделать, когда элементам требуется небольшой ток заряда (до 100 мА). В этом случае для понижения напряжения применяется высоковольтный конденсатор небольших размеров, за счет чего габариты всей конструкции удается уменьшить. Избыточное напряжение сети 220 В гасится реактивным сопротивлением конденсаторов (Xc). При этом нет потерь на разогрев, как это происходит с добавочным активным резистором.

Простейшее зарядное устройство показано на рис. 15.1. Оно позволяет заряжать пульсирующим током 26 мА одновременно три или четыре аккумулятора типа Д-0,26 (включенных последовательно) в течение 12...16 ч.

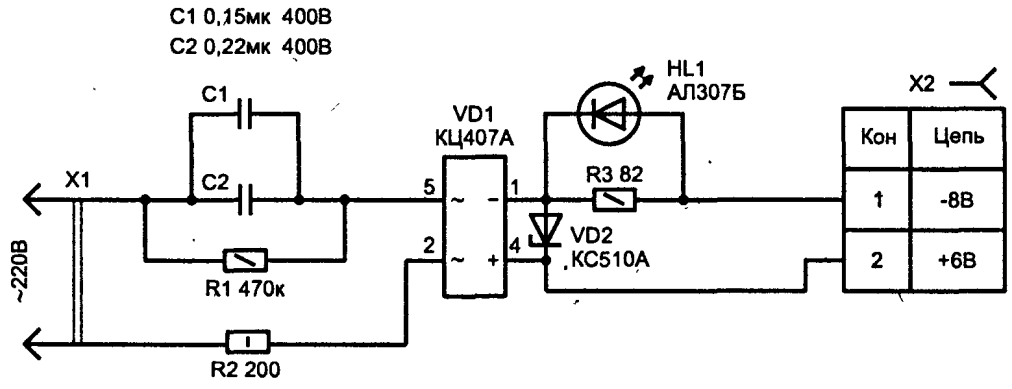


Рис. 15.1. Схема зарядного устройства

Назначение всех элементов этой схемы следующее:

C1, C2 — гасят напряжение сети;

R1 — обеспечивает ускорение разряда конденсаторов после отключения устройства, что исключает получение удара тока при случайном касании руками контактов вилки X1;

R2 — ограничивает ток в цепи при включении вилки в сеть, поскольку этот момент может совпасть с максимальной амплитудой напряжения;

R3 — обеспечивает разветвление тока, так как через большинство светодиодов нельзя пропускать ток более 20 мА;

HL1 — светодиод для индикации работы зарядного устройства (размещается на видном месте корпуса);

VD1 — диодный мост обеспечивает двухполупериодное выпрямление напряжения;

VD2 — стабилитрон для защиты от удара электрическим током при касании руками контактов X2 во время работы устройства.

Данную схему легко приспособить для заряда любых аккумуляторов с током 10...100 мА (можно сделать и на больший ток, но в этом случае все преимущества «зарядки» теряются, так как потребуется увеличение емкости конденсатора, а они при допустимом рабочем напряжении 400...500 В имеют большие габариты).

Для наиболее часто используемых номиналов конденсаторов их сопротивление и максимально возможный ток (действующий в режиме короткого замыкания нагрузки) указан в табл. 15.1.

Таблица 15.1. Реактивное сопротивление конденсаторов на частоте 50 Гц

Номинал С, мкФ	0,1	0,15	0,20	0,22	0,33	0,5	1,0	2,0
X_C, кОм	31,8	21,2	15,9	14,4	9,6	6,4	3,2	2,0
$I_{C\ max}$, мА	6,9	10,4	13,8	15,3	22,9	34,4	68,7	110,0

Таблица посчитана по формуле:

$$X_C = \frac{159000}{f \cdot C} = \frac{3180}{C},$$

где С — емкость подставляется в микрофарадах, тогда результат получится в омах.

Используя эту электрическую схему и зная рекомендуемый для конкретного типа аккумуляторов ток заряда ($I_{ЗАР}$), по приводимым ниже формулам можно определить емкость гасящего конденсатора (суммарную) С = С1 + С2. Остальные элементы данной схемы являются вспомогательными и на основной режим работы не влияют.

Пример расчета приведен для аккумуляторов Д-0,26 с зарядным током $I_{ЗАР} = 26$ мА.

$$X_C = \frac{220}{I_{ЗАР}} = \frac{220}{0{,}026} = 8461 \text{ Ом}, \qquad C = \frac{3180}{X_C} = \frac{3180}{8461} = 0{,}376 \text{ мкФ}.$$

Необходимо использовать ближайший номинал из ряда (в сторону увеличения).

Нужную емкость можно получить из двух конденсаторов, включенных параллельно или последовательно. После этого надо выбрать по справочнику тип

стабилитрона VD2 так, чтобы напряжение его стабилизации превышало напряжение заряженных аккумуляторов (он устанавливается в целях электробезопасности, ограничивая напряжение на выходных контактах, когда аккумулятор не подключен или неисправен). Тип стабилитрона зависит только от количества одновременно заряжаемых аккумуляторов и величины конденсатора, поскольку необходимо, чтобы возможный ток в цепи не превысил максимально допустимый для него.

В этом зарядном устройстве применяются резисторы типа МЛТ или С2-23, конденсаторы С1 и С2 типа К73-17В на рабочее напряжение не менее 400 В. Резистор R1 может иметь номинал 330...620 кОм. Светодиод HL1 подойдет любой, при этом для других токов заряда резистор R3 лучше подобрать экспериментально так, чтобы свечение было достаточно ярким. Диодная матрица VD1 заменяется четырьмя диодами КД102А или аналогичными выпрямительными.

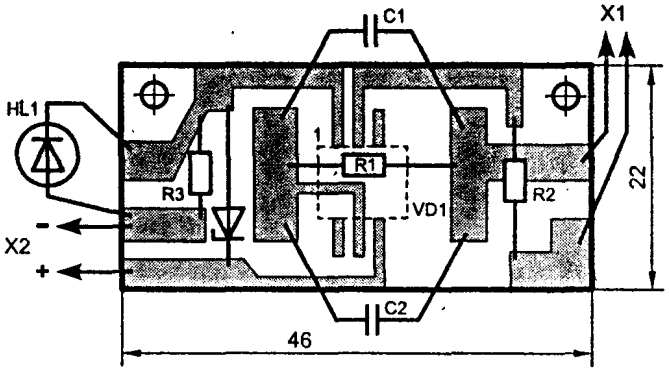


Рис. 15.2. Топология печатной платы и расположение элементов

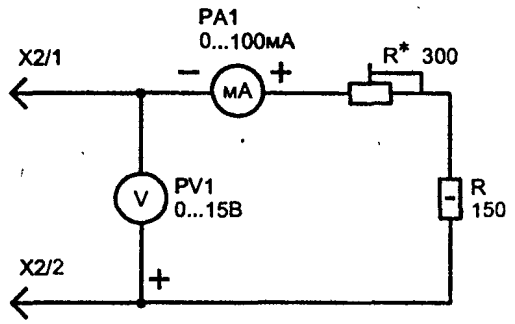


Рис. 15.3. Эквивалентная нагрузка, используемая для проверки зарядного устройства

Топология печатной платы с расположением элементов показана на рис. 15.2. Плата односторонняя (без отверстий), и элементы устанавливаются со стороны печатных проводников (припаиваются к контактам).

При использовании элементов, указанных на схеме, зарядное устройство легко устанавливается в корпусе от блоков питания, выполняемых в виде вилки, или же может размещаться внутри устройства, где установлены сами аккумуляторы.

Проверку зарядного устройства лучше проводить при подключении вместо аккумуляторов измерительных приборов и эквивалентной нагрузки (рис. 15.3), минимальная величина которой для четырех аккумуляторов определяется по закону Ома:

$$R = U/I = 4/0{,}026 = 150 \text{ Ом},$$

где U — напряжение на разряженных аккумуляторах (у основной массы аккумуляторов эта величина составляет один вольт на элемент).

На рис. 15.4 приведена еще одна схема бестрансформаторного зарядного устройства, предназначенного для одновременного заряда двух аккумуляторов типа НКГЦ-0,45 (НКГЦ-0,5 и аналогичных). Здесь обеспечивается **асимметричный режим заряда**, что, как установили ученые, позволяет продлить срок службы элементов. Суть этого метода состоит в том, что заряд аккумуляторов G1 и G2 проводится током 40...45 мА поочередно в течение одной полуволны сетевого напряжения. Так, например, в течение положительной полуволны заряжа-

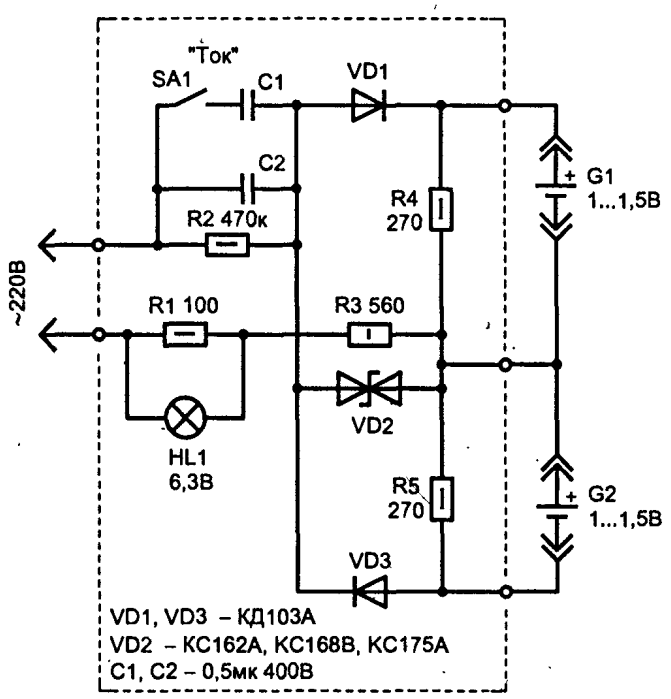


Рис. 15.4. Схема зарядного устройства на два аккумулятора

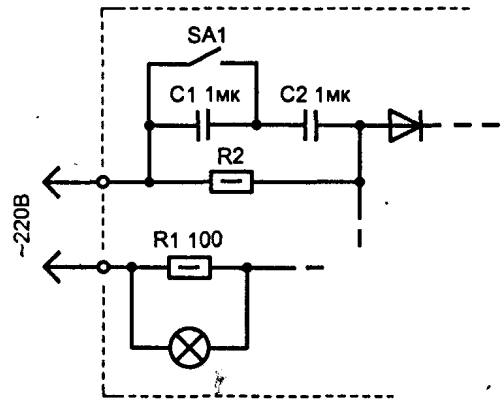


Рис. 15.5. Возможный вариант подключения конденсаторов в схеме рис. 15.4

ется G1 (G2 — разряжается). В течение второй полуволны, когда соответствующий диод закрыт, элемент G1 разряжается через резистор R4 током 4,5 мА. Такое построение схемы позволяет осуществлять процесс заряда аккумуляторов независимо друг от друга, и любая неисправность одного из них не нарушит процесс заряда другого.

Имеющийся в схеме переключатель SA1 позволяет увеличить в два раза ток заряда, что может пригодиться для ускорения процесса.

Назначение симметричного стабилитрона VD1 такое же, как и на предыдущих схемах. Для индикации наличия сетевого напряжения используется миниатюрная лампа HL1 (типа СМН6.3-20 или аналогичная). Конденсаторы подойдут из серий К73-17, К73-21, МБГ и другие высоковольтные. Конденсаторы большей емкости можно включить последовательно по схеме, показанной на рис. 15.5.

При правильной сборке устройства его настройка не потребуется.

Во время зарядки надо помнить, что аккумуляторы не следует оставлять подключенными к схеме без включения устройства в сеть, так как при этом происходит их разряд через резисторы R4–R5. ■

С трансформаторным питанием от сети

Несмотря на принимаемые меры защиты, все же лучше, если зарядное устройство будет иметь гальваническую развязку от сети. Тем более что в продаже несложно найти подходящий по мощности трансформатор (его выбирать надо не менее чем с двойным запасом по току). Схемы в этом случае могут иметь вид, показанный на рис. 15.6. Они являются универсальными и легко приспосабливаются для заряда большинства аккумуляторов.

В схеме на рис. 15.6, *а* токоограничивающие резисторы R2–R4 можно рассчитать по закону Ома, зная напряжение на выходе трансформатора, после выпрямителя и нужный ток для конкретных аккумуляторов. Но так как часто приходится использовать низковольтные трансформаторы с неизвестным внутренним сопротивлением (падением напряжения под нагрузкой), надежней будет определить эти резисторы экспериментально, для чего включаем в

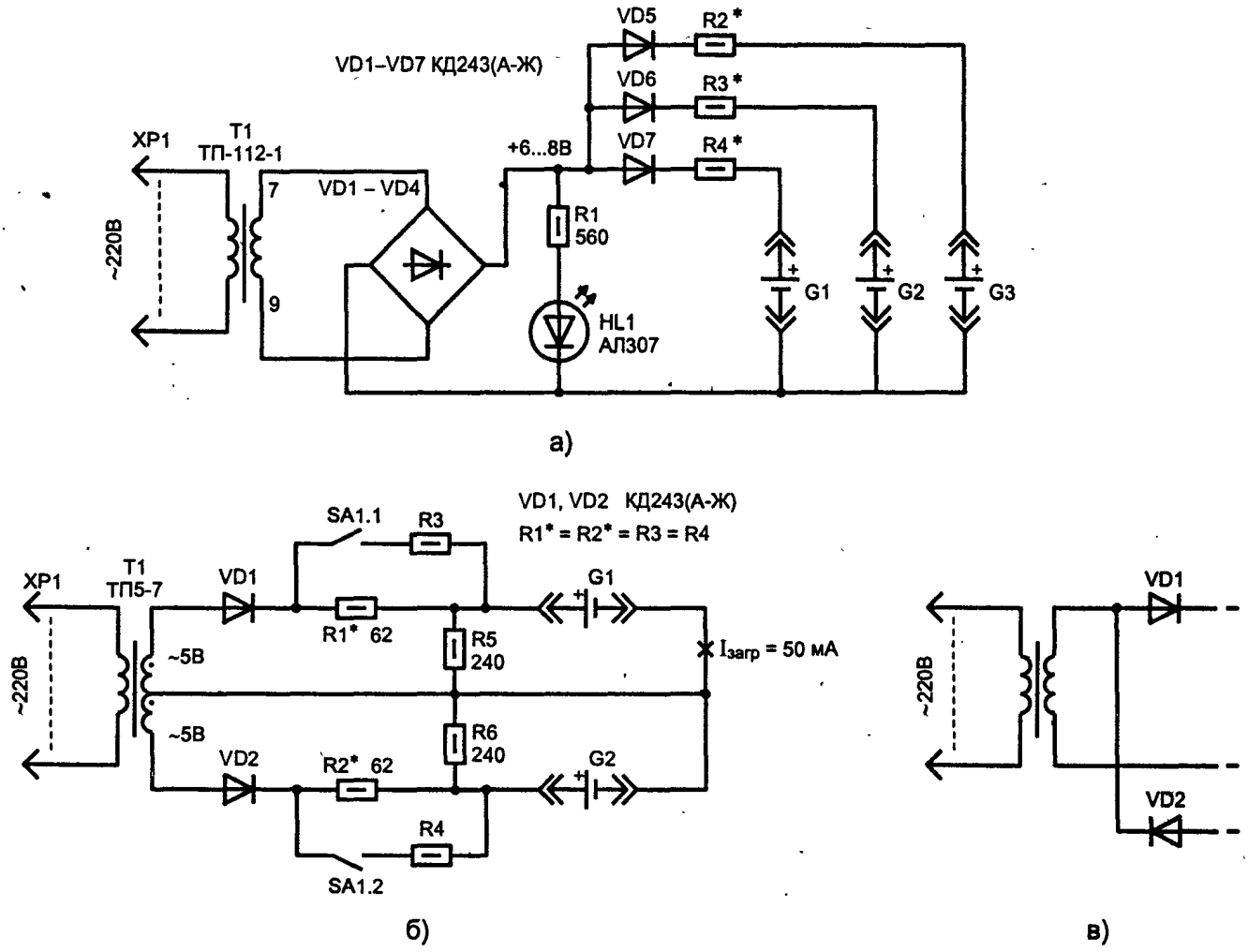


Рис. 15.6. Простейшие трансформаторные зарядные устройства:
***а* — с пульсирующим током, *б* — с асимметричным током (чередуется цикл заряд/разряд)**

разрыв цепи заряда аккумулятора миллиамперметр и подбираем номинал под нужный ток.

Диоды VD5—VD7 предотвращают разряд элементов в случае отключения питания устройства.

Схема на рис. 15.6, *б* позволяет одновременно заряжать 2 аккумулятора (или 4, если к обмотке после выпрямительных диодов подключить аналогичный каскад). Заряд элементов производится поочередно (только через резисторы R5, R6), так как они питаются от раздельных однополупериодных выпрямителей. В то время когда нет заряда, происходит разряд элемента током, в 10 раз меньшим, чем зарядный ток $I_{ЗАР}$ — резисторы рассчитываем для нужного тока разряда из соотношения:

$$R5 = R6 = \frac{12}{I_{ЗАР}},$$

где значения тока подставляются в амперах, тогда результат получится в омах.

Теперь о том, как определить резисторы в цепи заряда. Лучше это сделать экспериментально по миллиамперметру, как и для схемы с мостовым выпрямителем, но с небольшой поправкой. Ведь, во-первых, измерительный прибор

будет показывать действующее значение тока всего за один полупериод, во-вторых, часть тока в цепи идет не только на заряд, но и ответвляется через разрядный резистор. Поэтому, чтобы получить амплитудное значение тока в цепи, показания стрелочного миллиамперметра умножаются на коэффициент 0,36 (для амплитуды тока заряда 50 мА измерительный прибор должен показывать не менее 18 мА).

В схеме асимметричного заряда допустимо существенно (в несколько раз) увеличивать зарядный ток. Дополнительные резисторы (R3, R4) и переключатель SA1 позволяют увеличить ток в цепи в два раза для ускорения заряда.

Если трансформатор имеет только одну низковольтную обмотку, то подключение VD2 и аккумулятора G2 изменится на противоположное, рис. 15.6, *в*. ■

Со стабилизатором тока на транзисторе

Аккумуляторы прослужат дольше, если их зарядку выполнять от источника стабильного тока. С несколькими вариантами построения стабилизатора тока вы уже знакомы по первой книге, там же описан подробно принцип работы такого стабилизатора. Здесь и далее мы рассмотрим варианты практического использования их в зарядных устройствах.

Простой стабилизатор тока можно выполнить на основе транзистора, рис. 15.7. В схеме опорное напряжение берется со светодиода (одновременно он является и индикатором того, что идет процесс заряда), а отрицательную обратную связь по току обеспечивает резистор R2.

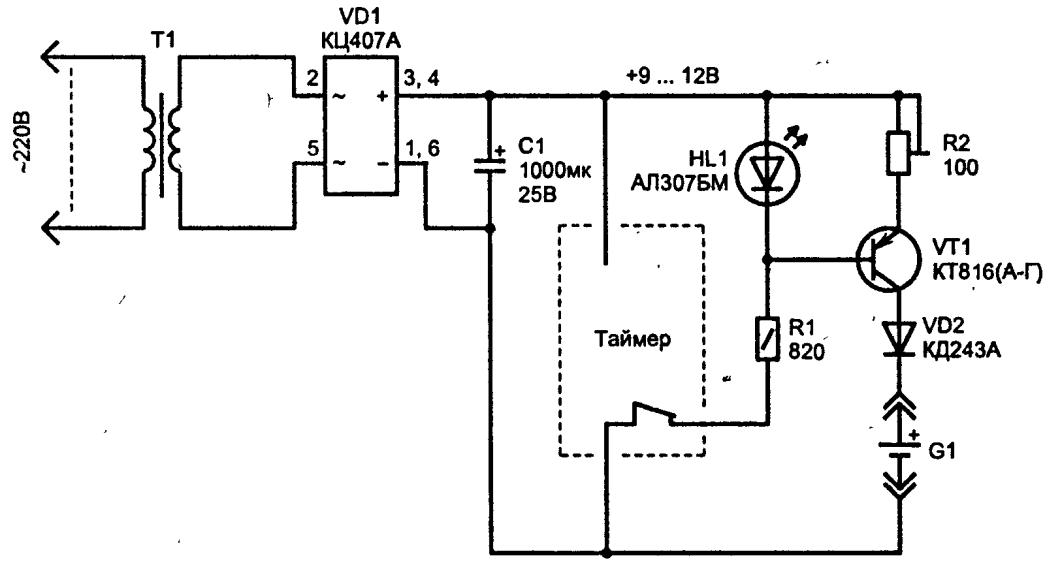


Рис. 15.7. Зарядное устройство со стабилизатором тока на транзисторе

В диапазоне 10...100 мА нужный ток заряда при настройке устанавливается за счет изменения напряжения токовой обратной связи подстроечным резистором R2. Эту схему можно подключить к таймеру, который будет описан чуть позже (рис. 15.13). Это избавит от необходимости помнить о работе устройства, так как позволит автоматически выключать процесс заряда через нужное время. ■

Со стабилизатором тока на микросхеме

Зарядное устройство может быть собрано на микросхеме КР142ЕН12А(Б) или ее импортном аналоге LM317T. От такого источника тока можно заряжать не только отдельные элементы, но и составленные из них батареи. Для нормальной работы схемы надо, чтобы напряжение после выпрямителя было на 6...7 В больше, чем номинальное напряжение заряжаемого аккумулятора.

Схема, приведенная на рис. 15.8, содержит минимальное количество элементов и может быть выполнена универсальной. Она позволяет получать разный ток стабилизации, в зависимости от выбранного резистора R1 (выбрать этот резистор можно из табл. 15.2).

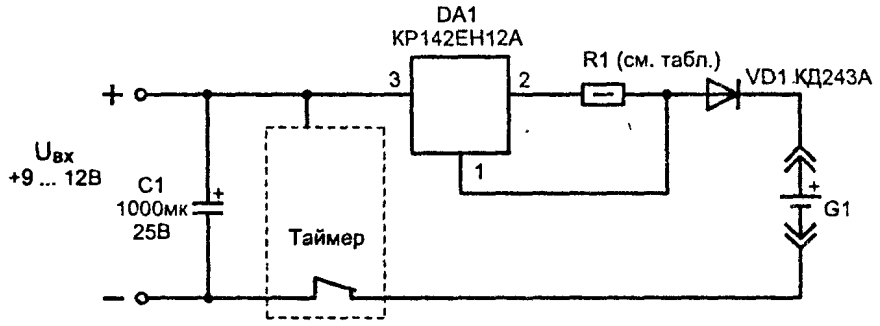


Рис. 15.8. Зарядное устройство со стабилизатором тока на микросхеме

Таблица 15.2. Зависимость от резистора R1 тока и времени заряда аккумулятора

Резистор R1, Ом	Ток стабилизации, мА	Тип элемента и его энергоемкость	Время заряда, ч
110	11	СЦ на 110 мА·ч (нормальный заряд)	14
82	15	СЦ на 150 мА·ч (нормальный заряд)	14
51	24	Д на 260 мА·ч (нормальный заряд)	15
20	63	АА на 1200 мА·ч (медленный заряд)	28
10	125	АА на 1200 мА·ч (нормальный заряд)	14
4,7	266	АА на 1200 мА·ч (ускоренный заряд)	7
3,3	379	АА на 1200 мА·ч (быстрый заряд)	4 ч 40 мин

При желании сопротивление задающего ток резистора можно изменять галетным переключателем — в этом случае удастся заряжать разные типы аккумуляторов. В автономных условиях в качестве источника напряжения для подключения зарядного устройства возможно применение автомобильного аккумулятора.

Диод VD1 предотвращает повреждение микросхемы в случае, когда заряжаемый элемент будет подключен раньше, чем включено питание устройства.

Монтаж удобно выполнить объемными перемычками, а саму микросхему лучше закрепить к теплоотводу (радиатору), обеспечив его изоляцию от корпуса конструкции. ■

Перезарядка гальванических элементов

Жизнь принуждает человека ко многим
добровольным действиям.
Станислав Ежи Лец

Тот факт, что большинство типов современных гальванических элементов удается восстанавливать после разряда, уже давно ни для кого не секрет. Правда, они выдерживают намного меньше циклов перезарядки, чем аккумулятор, но порой даже несколько циклов перезаряда могут сильно выручить. Во всяком случае, наши и зарубежные радиолюбители этим свойством пользуются.

Знают об этой возможности и разработчики гальванических элементов, но они не рекомендуют заниматься перезарядкой, так как при многократном и неграмотном повторении этого процесса последствия могут быть непредсказуемыми (возможна утечка электролита из-за нарушения герметичности корпуса). Тем не менее, с начала 80 гг. XX в. некоторые американские фирмы начали выпускать гальванические элементы с гарантированным перезарядом (при условии использования «фирменного» зарядного устройства) [1]. Стоят такие элементы в два раза дороже обычных батареек, но это — вполне оправданные затраты, даже несмотря на то, что после каждого цикла «заряд-разряд» их емкость постепенно уменьшается — в аккумуляторах она постоянна в течение всего срока эксплуатации, но аккумуляторы и стоят существенно дороже.

Многократная перезарядка большинства типов гальванических элементов возможна при выполнении следующих условий:

1. Нельзя доводить элемент до полного разряда, т. е. надо его ставить на подзаряд при снижении напряжения не ниже уровня в 1 В;
2. Подзарядку необходимо выполнять асимметричным током в режиме «заряд-разряд», при этом зарядный ток в 10 раз превышает разрядный;
3. Время процесса подзаряда не должно превышать 6...10 часов;
4. После окончания процесса необходимо, чтобы элемент 1...2 часа никуда не устанавливался, так как у него будет повышенное напряжение (до 1,85 В), которое постепенно вернется к номинальному (1,5 В).

А теперь посмотрим, как можно сделать собственное «фирменное» зарядное устройство для разных типов гальванических элементов. ■

«Таблетки» из серии СЦ

Элементы питания из серии СЦ часто используются в часах и разных игрушках. Если требуется восстановить у них заряд, схема для регенерации может быть очень простой и малогабаритной при выполнении ее с бестрансформаторным сетевым питанием. Несколько вариантов таких зарядных устройств показано на рис. 15.9.

В схеме на рис. 15.9, *а* зарядный ток ($I_{ЗАР}$) элемента G1 протекает через цепь VD1—R1 в момент положительной полуволны сетевого напряжения. Величина $I_{ЗАР}$ зависит от величины R1. В момент отрицательной полуволны диод VD1 закрыт и разряд идет по цепи VD2—R2. Соотношение $I_{ЗАР}$ и $I_{РАЗР}$ выбрано 10:1. У каждого типа элемента серии СЦ своя емкость, но известно, что величина

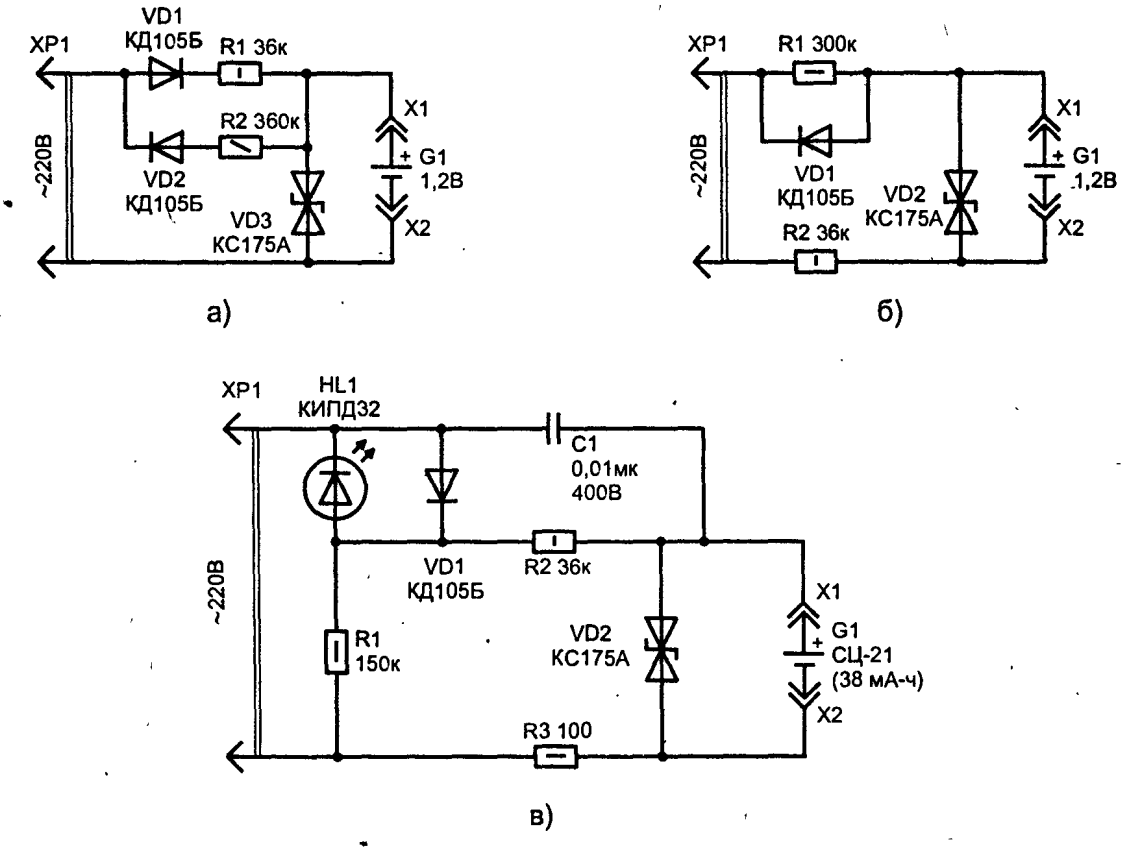


Рис. 15.9. Три схемы зарядных устройств для миниатюрных элементов

зарядного тока должна составлять примерно десятую часть от электрической емкости элемента питания. Например, для СЦ-21 (емкость 38 мА·ч) — $I_{ЗАР} = 3{,}8$ мА, $I_{РАЗР} = 0{,}38$ мА, для СЦ-59 (емкость 30 мА·ч) — $I_{ЗАР} = 3$ мА, $I_{РАЗР} = 0{,}3$ мА. Близкие по емкости элементы можно заряжать от одного и того же зарядного устройства, но соответствующим образом изменив время зарядки.

На схеме указаны номиналы резисторов для регенерации элементов СЦ-59 и СЦ-21, а для других типов их легко определить, воспользовавшись соотношениями:

$$R1 = 220/(2 \cdot I_{ЗАР}),\ R2 = 0{,}1 \cdot R1.$$

Установленный в схемах стабилитрон в работе зарядного устройства участия не принимает, но выполняет функцию защиты от поражения электрическим током — при отключенном элементе G1 на выходных контактах напряжение не сможет возрасти больше, чем уровень стабилизации. Стабилитрон КС175 подойдет с любой последней буквой в обозначении или же может быть заменен двумя стабилитронами типа Д814А, включенными последовательно навстречу друг другу.

В качестве диодов VD1, VD2 подойдут любые выпрямительные с рабочим обратным напряжением не менее 400 В (КД243(Г—Ж), КД247(В—Е) и др.).

Аналогичный принцип работы имеют схемы, показанные на рис. 15.9, *б* и *в*. Они в особых пояснениях не нуждаются.

Для удобства эксплуатации во все схемы можно добавить светодиодный индикатор наличия сетевого напряжения, как это сделано в схеме на рис. 15.9, *в* или на «неонке» (см. вторую главу книги 1).

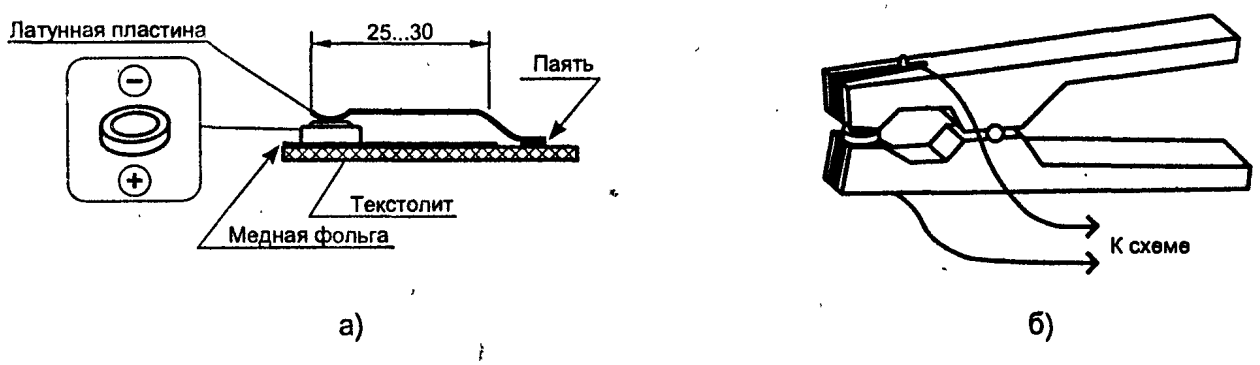


Рис. 15.10. Варианты выполнения конструкции зажима для подключения элементов к зарядному устройству

Для закрепления элементов при заряде можно сделать зажим на основе тонкой латунной пластины или деревянной бельевой прищепки, как это показано на рис. 15.10 (первый вариант более компактный).

Восстанавливать таким образом элементы СЦ удается три-четыре раза, если их ставить вовремя на подзарядку, не допуская полного разряда (ниже 1 В). ■

Элементы типоразмера АА и ААА

Так как эти гальванические элементы для подзаряда требуют ток более 100 мА, для них зарядное устройство лучше делать на основе понижающего напряжение трансформатора. Проще всего зарядное устройство выполнить по схеме на рис. 15.11.

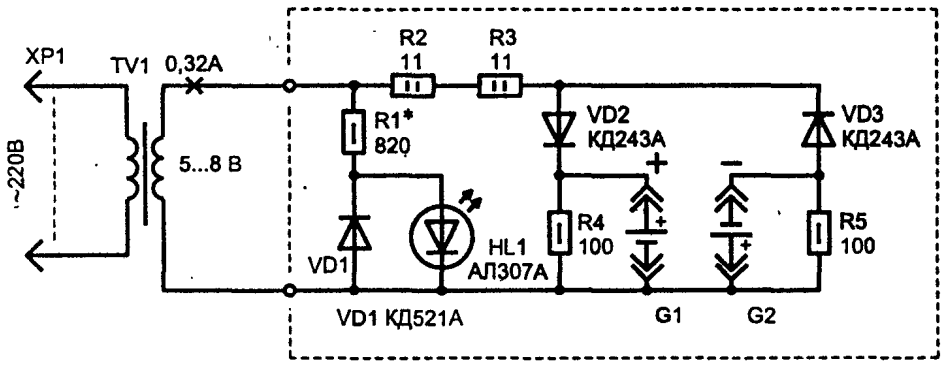


Рис. 15.11. Схема зарядного устройства для гальванических элементов

Как и предыдущие схемы, данное зарядное устройство обеспечивает асимметричный режим заряда (заряд током 150...160 мА, разряд — 15 мА). Два элемента заряжаются независимо друг от друга, и дефект одного из них не приведет к прекращению заряда другого. Ну а так как заряд проводится в течение одной полуволны сетевого напряжения, когда соответствующий диод открыт, то для получения **действующего** значения тока заряда 150 мА необходимо, чтобы ток в цепи был не менее 315 мА (15 мА ответвляется через разрядные резисторы).

Светодиод HL1 является индикатором наличия питающего напряжения, а назначение остальных элементов описано было ранее.

Схема не критична к выбору типа элементов. Выпрямительные диоды (VD2, VD3) подойдут с допустимым током не менее 0,5 А. Трансформатор (TV1) по-

дойдет любой с напряжением во вторичной обмотке 4,5...10 В и допустимым током не менее 0,5 А (см. справочный раздел книги). Можно использовать трансформаторы из серии ТН — все они имеют хотя бы одну обмотку на 6,3 В. Номиналы резисторов R1, R2+R3 на схеме указаны для напряжения 10 В — для меньшего их соответственно придется уменьшить.

Величину резисторов R2+R3 лучше подобрать экспериментом для конкретного трансформатора, для чего в разрыв цепи от вторичной обмотки TV1 подключается миллиамперметр, а в гнезда устанавливаются разряженные гальванические элементы.

Плата для сборки не приводится, так как она выполняется под размер имеющегося свободного места в конкретном корпусе (топология простая, и вы ее легко разведете самостоятельно).

Конструкция зарядного устройства может быть выполнена на основе вилки с встроенным трансформатором. Из них есть такие корпуса, которые позволяют легко закрепить на верхней крышке контактную колодку (отсек) для установки гальванических элементов, рис. 15.12. ■

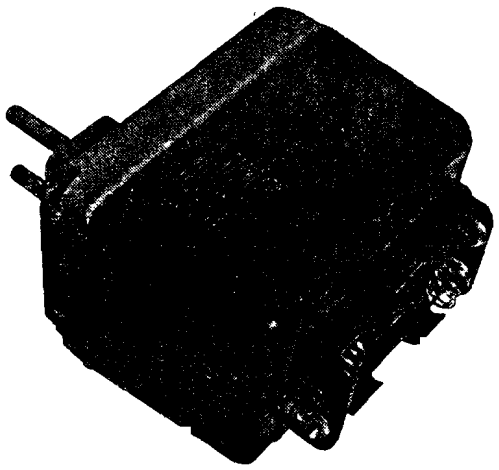


Рис. 15.12. Вид собранной конструкции зарядного устройства

Времязадающие управляющие автоматы

Время, в отличие от денег, накопить нельзя.

Борис Крутиер

Большинство проходящих процессов требует определенного времени. Довольно удобно, когда вместо вас за процессом следит электроника, в XXI веке живем все же. Электронный таймер может не только напомнить звуковым или световым сигналом о том, что уже пора выключить или включить (плиту, зарядное устройство и т. д.), но может сделать это и сам.

По схемотехнической реализации такие таймеры бывают двух типов: аналоговые и цифровые. С аналоговыми таймерами вы уже знакомы по главе 13. Временной интервал у них задается при помощи цепи заряда конденсатора. Пороговый элемент срабатывает при достижении напряжения на конденсаторе определенного уровня, то есть переключает напряжение на выходе. Схема получается очень простой, но из-за технологического разброса номиналов элементов она требует много времени на настройку интервала (подбор может быть нужен даже в том случае, если времязадающие элементы использовать прецизионные — высокоточные и дорогие). Есть еще два недостатка у таких схем, которые ограничивают их применение. Это невысокая точность формируемого интервала (обычно не более 1% в лучшем случае) из-за влияния окружающей температуры и сложность получения больших временных интервалов (более 30 мин) из-за тока утечки в конденсаторах большой емкости.

В цифровых таймерах используют стабильный задающий генератор импульсов и счетчики импульсов (делители частоты). Увеличивая число счетчиков, можно получить таймер на любой интервал времени. При этом они полностью лишены недостатков аналоговых таймеров, ведь частоту задающего генератора можно легко измерить и подстроить по частотомеру или же воспользоваться кварцевым резонатором для стабилизации. ■

Таймер для зарядных устройств

При пользовании большинством простейших зарядных устройств необходимо следить за временем, так как они не имеют защиты от повреждения аккумуляторов избыточным зарядом. В наше время и без того дел хватает, чтобы еще помнить и об аккумуляторах. Проще поручить эту задачу электронному таймеру.

Предлагаемый цифровой таймер позволяет устанавливать один из трех временных интервалов (4, 8 и 16 ч), наиболее часто необходимых для заряда аккумуляторов. Он легко встраивается в большинство зарядных устройств и в этом случае может сам прервать процесс заряда, что исключит вероятность получения аккумулятором избыточной энергии, снижающей его ресурс. Кроме отключения зарядного тока, в таймере предусмотрено включение прерывистого звукового сигнала. В качестве источника звука подойдет любой пьезоизлучатель.

Устройство выполнено всего на двух КМОП микросхемах (рис. 15.13) и состоит из задающего генератора на триггере Шмитта (DD1.1), импульсы с кото-

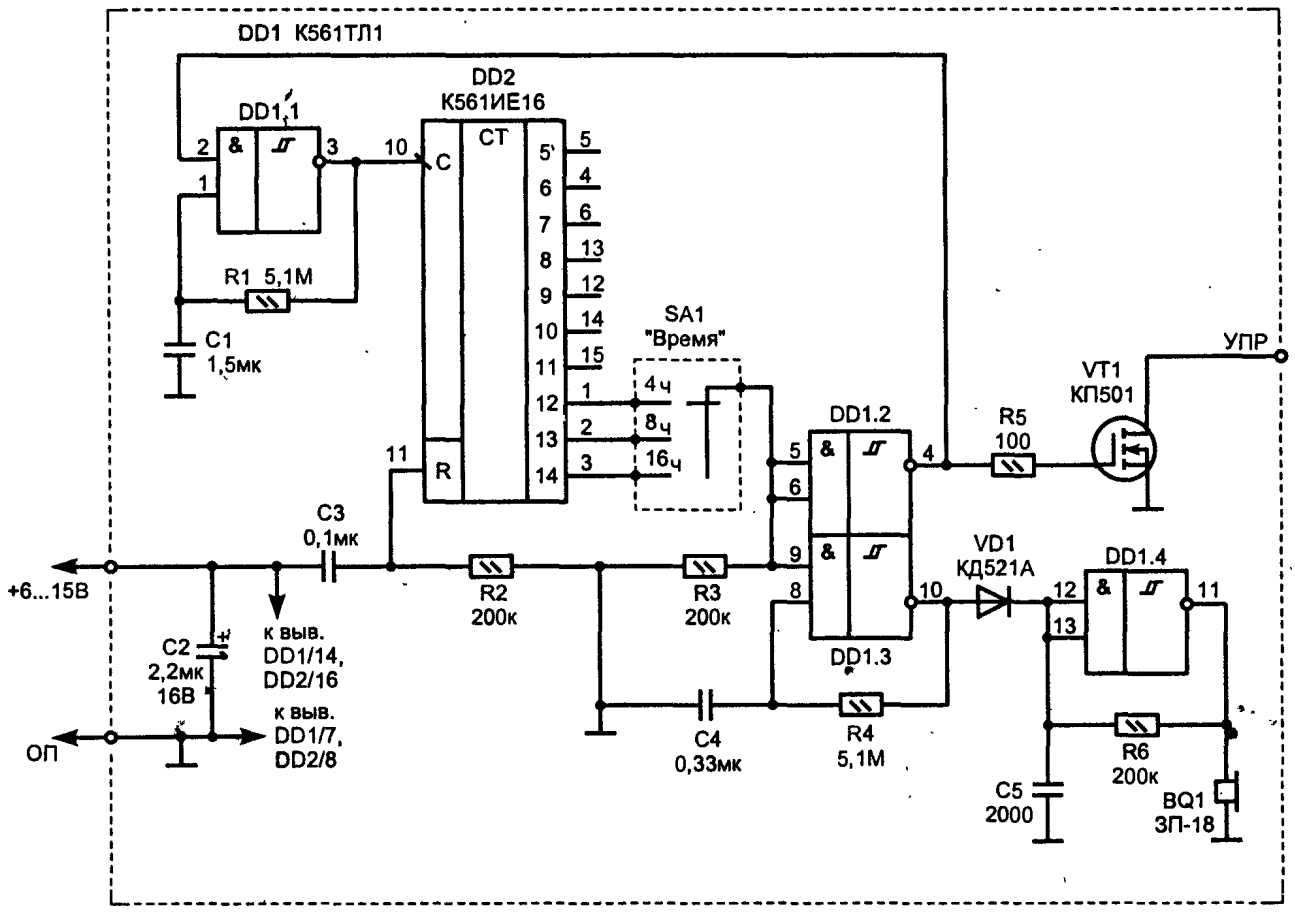


Рис. 15.13. Таймер для отключения устройств через заданный интервал времени

рого поступают на счетчик (DD2). Через переключатель SA1 к одному из выходов счетчика через инвертор (DD1.2) подключен транзисторный ключ VT1.

При подаче питания на схему за счет импульса, сформированного цепью C3–R2, счетчик DD2 обнуляется. При этом на выходе элемента DD1.2 будет присутствовать лог. 1, которая поддерживает транзистор в открытом состоянии. Это продолжается до того момента, пока на соответствующем выходе счетчика не появится лог. 1 (лог. 0 на DD1/4), что приведет к остановке задающего генератора (лог. 0 на входе DD1/2 его блокирует) и закрыванию транзистора VT1. В таком состоянии схема будет находиться до момента отключения питания и его повторного включения.

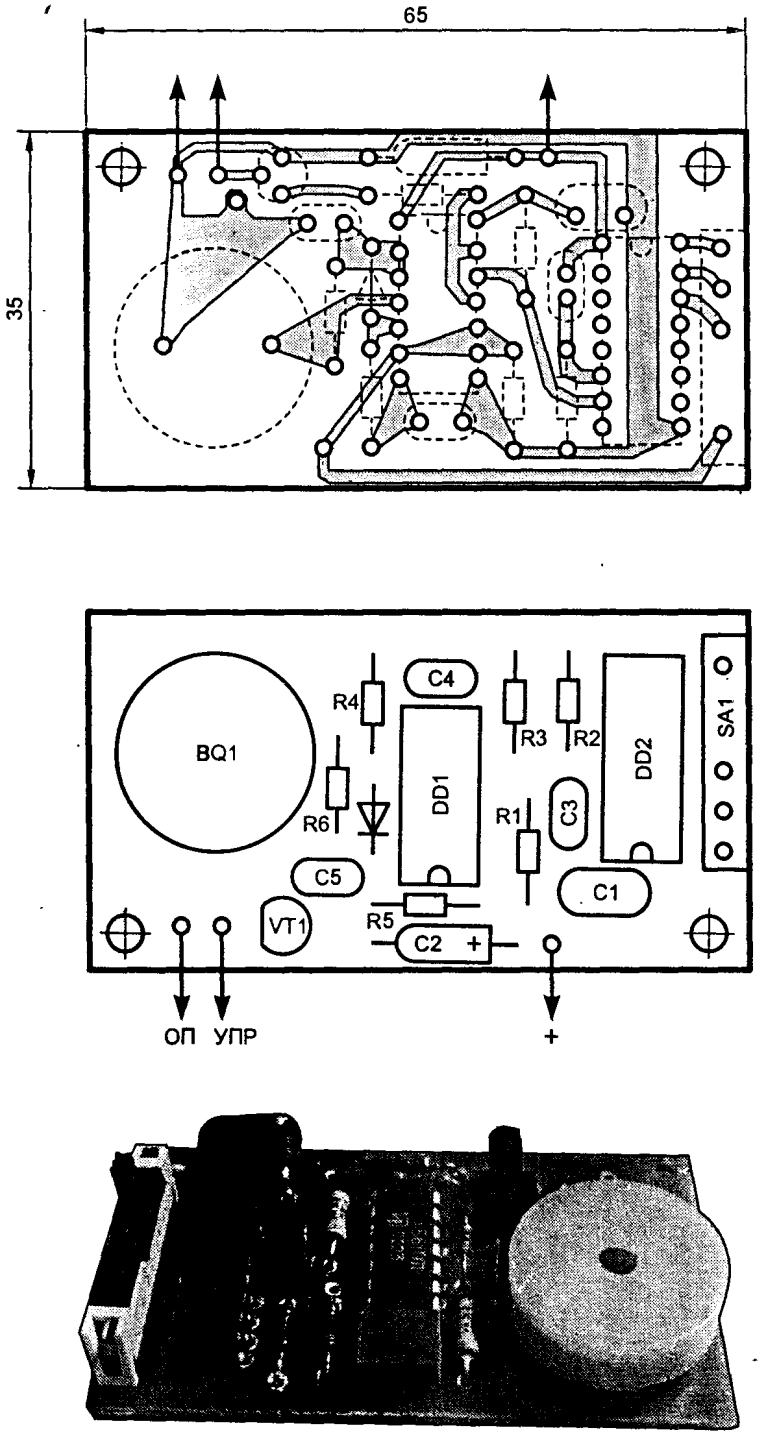


Рис. 15.14. Топология печатной платы, расположение элементов и внешний вид монтажа

Для прерывистой звуковой индикации окончания установленного интервала используются два связанных между собой генератора на элементах DD1.3 (2 Гц) и DD1.4 (1800 Гц).

Схема может работать от напряжения 5...15 В, а потребляемый ток в режиме выдержки интервала не превышает 0,3...2,8 мА.

Для сборки схемы можно воспользоваться односторонней печатной платой, приведенной на рис. 15.14. Плата предусматривает установку прямо на нее переключателя SA1 типа ПД21-3 (допустимо также использовать любой внешний). При монтаже могут устанавливаться любые малогабаритные резисторы и конденсаторы. Диод VD1 заменяется любым импульсным.

Коммутацию нагрузки можно реализовать двумя способами. Первый — непосредственно полевым транзистором (например, это удобно делать в схемах на рис. 15.7 и 15.8 — для данного транзистора допустимым является ток до 200 мА). Второй — при помощи контактов реле K1, как это показано на рис. 15.15. Реле подойдет с двумя группами переключающих контактов и рабочим напряжением, соответствующим питающему всей схемы.

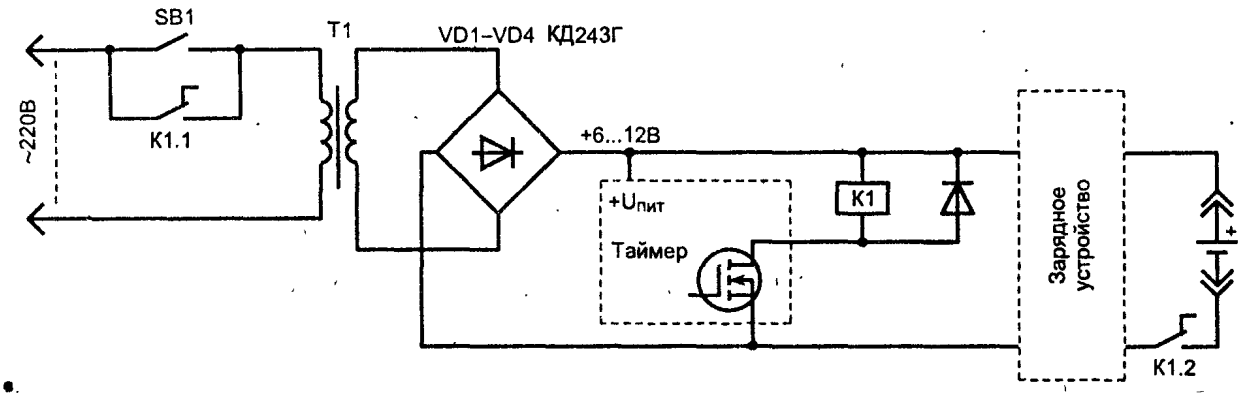


Рис. 15.15. Подключение таймера для полного отключения из сети зарядного устройства

Включается устройство кратковременным нажатием кнопки SB1. В этом случае срабатывает реле K1 и своими контактами (K1.1) блокирует цепь кнопки. После окончания зарядного интервала, когда реле отключится, происходит не только отключение цепи заряда при помощи второй группы контактов (K1.2), но и полное выключение из сети всего устройства. Для следующего включения схемы необходимо опять нажать кнопку SB1. ■

Цифровой циклический таймер

Для создания комфортных условий есть немало устройств, которые нужно периодически включать на небольшие интервалы времени, причем независимо от времени суток. К ним относятся ионизатор воздуха, воздухоочиститель, вентилятор, электронагреватель и другие. Эту задачу и выполняет приведенная на рис. 15.16 схема.

Устройство собрано на широко распространенной КМОП микросхеме из серии 176 — 15-разрядном счетчике. Это позволяет существенно упростить схему за счет того, что имеется возможность собрать задающий RC-генератор на уже имеющихся в корпусе элементах. К сожалению, у этой микросхемы нет

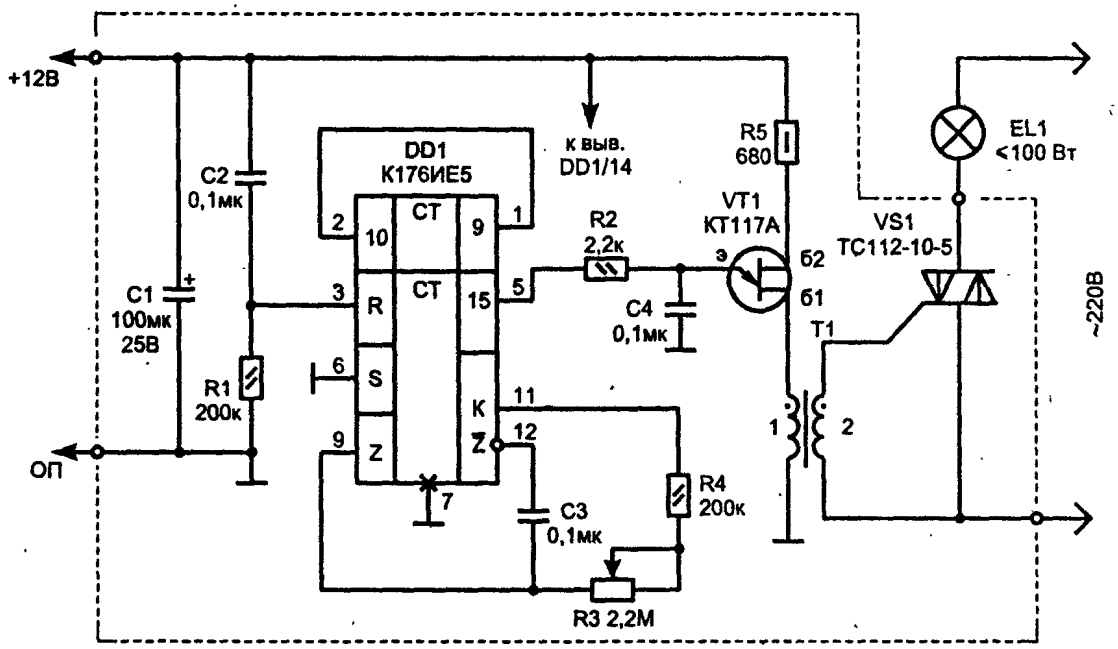


Рис. 15.16. Схема автомата для периодического включения сетевых устройств

аналогов в других, более современных сериях, поэтому приходится использовать напряжение питания от 9 до 12 В.

При включении питания короткий импульс, сформированный цепью С2–R1, обнуляет счетчики и начинается отсчет временного интервала. Формируемый интервал зависит от частоты генератора, задаваемой конденсатором С3, и суммарного сопротивления резисторов R3 + R4. Первоначально лог. 1 появится на выходе DD1/5 через 11 минут, если R3 = 0, или через 2 часа — при R3 = 2,2 МОм (применение подстроечного резистора позволяет регулировать рабочий интервал в этом диапазоне). Причем время, в течение которого будет включена нагрузка, и пауза получаются одинаковыми.

Коммутацию нагрузки (на схеме нагрузкой является обычная лампа EL1) выполняет электронный ключ — симистор VS1. Это делает процесс переключения бесшумным и более надежным, чем у реле. Ну а для того, чтобы снизить потребление тока схемой управления, для включения симистора используются импульсы, сформированные автогенератором на однопереходном транзисторе (он подробно был описан в главе 13).

Для монтажа элементов можно воспользоваться печатной платой, показанной на рис. 15.17.

Импульсный трансформатор Т1 придется изготовить самостоятельно. Он наматывается проводом ПЭЛШО диаметром 0,12...0,18 мм на ферритовом кольце М4000НМ1 типоразмера К16×10×4 мм или кольце М2000НМ1 — К20×12×6 мм и содержит в обмотке 1 — 80 витков, 2 — 60 витков. Перед намоткой острые грани сердечника нужно закруглить надфилем, чтобы они не прорезали изоляцию провода. Желательно также обмотать каркас магнитопровода фторопластовой лентой или покрыть лаком. Обмотки располагаются напротив друг друга (намотка внавал), рис. 15.18. После намотки и пропитки катушек лаком обязательно убедитесь в отсутствии утечки между обмотками, а также обмотками и ферритом магнитопровода (делать это надо после закрепле-

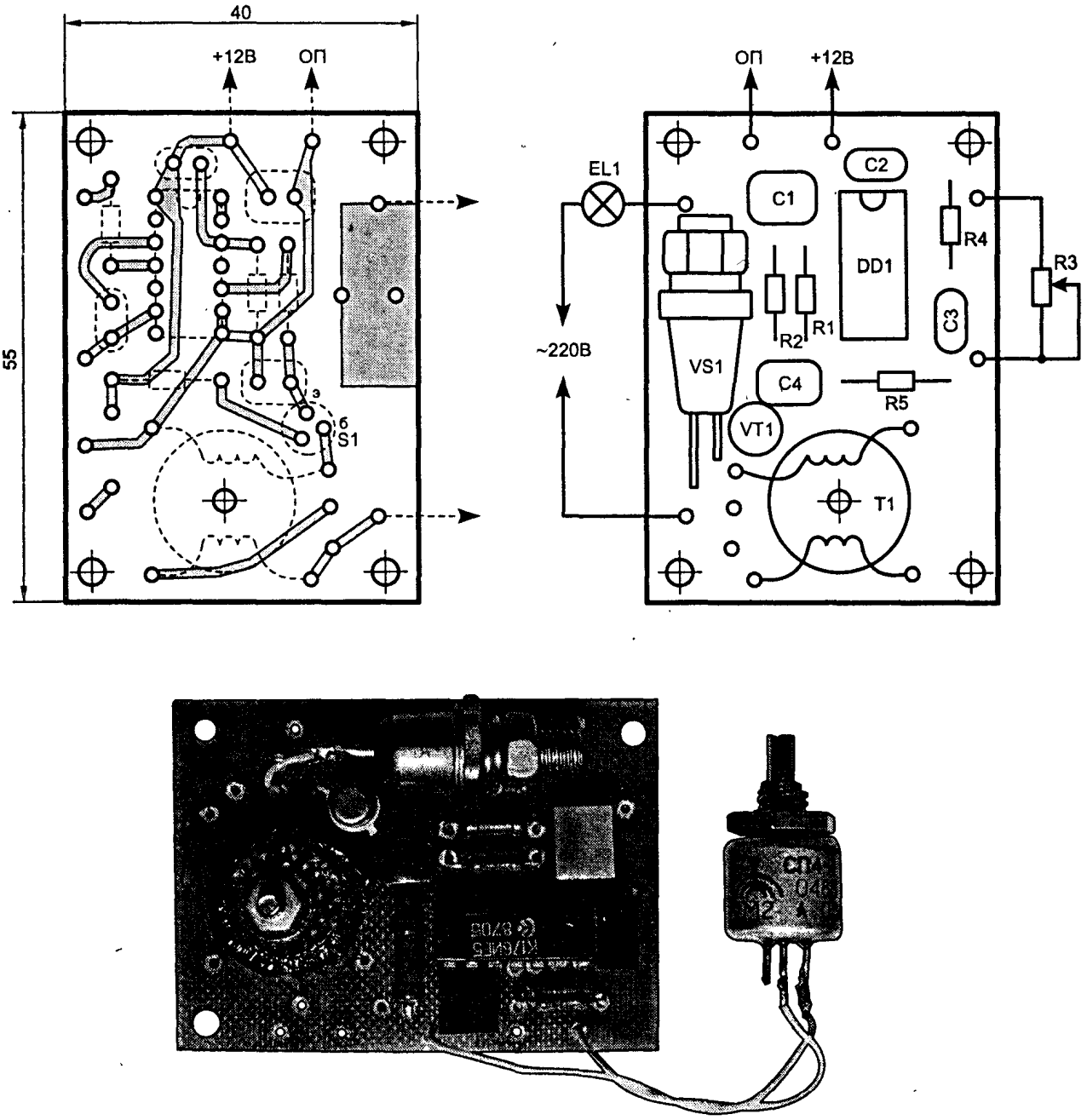


Рис. 15.17. Топология печатной платы, расположение элементов и внешний вид монтажа

ния трансформатора на плате при помощи винта). Между платой и трансформатором лучше проложить резиновую прокладку.

Если мощность нагрузки не превышает 100 Вт, что бывает наиболее часто, симистор в радиаторе не нуждается. Он крепится при помощи скобы из толстого провода прямо к плате. В противном случае радиатор можно изготовить из медной или алюминиевой пластины. Допускается также подключение более мощных симисторов, например,

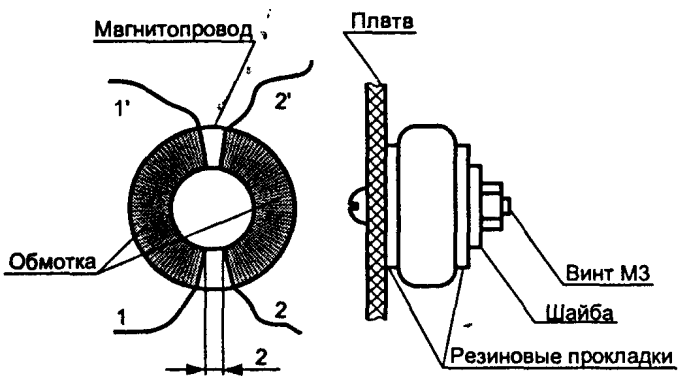


Рис. 15.18. Конструкция импульсного трансформатора

типа ТС122-20-6 (на ток 20 А), ТС122-25-6 (ток 25 А) и многие другие, но допустимое рабочее напряжение у них должно быть не меньше 500 В.

Остальные детали схемы подойдут любого типа, например переменные резисторы R3 — СП4-1; постоянные резисторы С2-23 или МЛТ; все конденсаторы могут быть К10-17 и др.

Источник питания для схемы нужен на напряжение 9...12 В. Потребляемый при этом ток составляет 1,6...2,4 мА — он увеличивается до 2,9...4,5 мА при работе автогенератора на транзисторе VT1, управляющего включением симистора. Например, сам таймер можно питать от сети по бестрансформаторной схеме, приведенной на рис. 15.19. Топология для сборки такого источника дана на рис. 15.20.

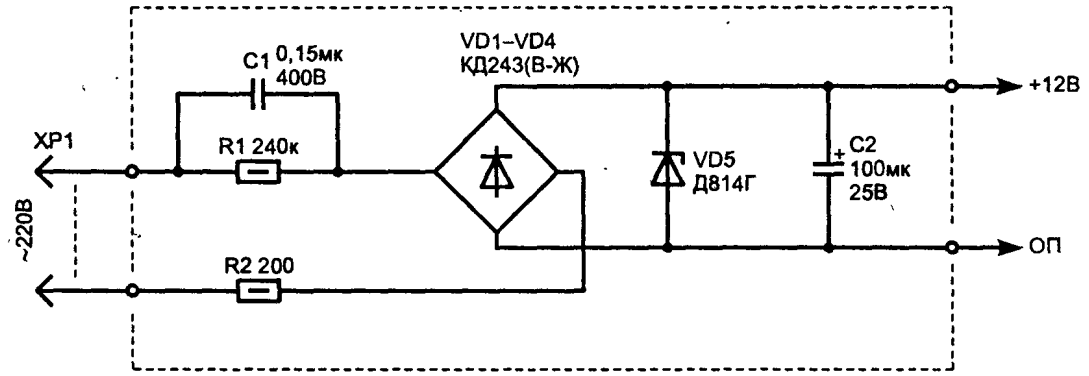


Рис. 15.19. Вариант бестрансформаторного источника питания

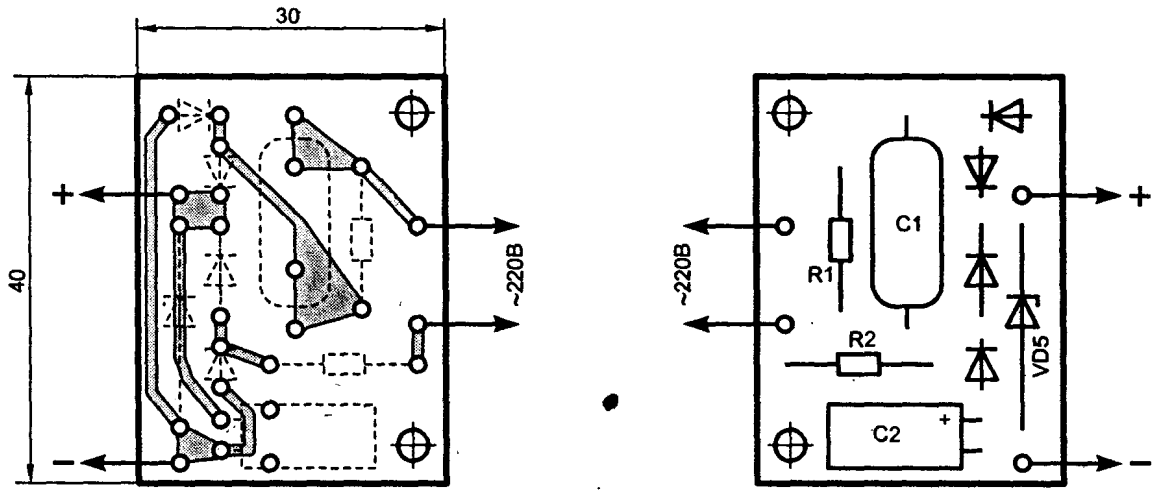


Рис. 15.20. Топология печатной платы и расположение элементов

Несколько слов о настройке каскада электронного коммутатора. Первоначально надо включить в качестве нагрузки лампу накаливания мощностью 40...60 Вт и, дождавшись, когда она загорится, проверить на ней уровень переменного напряжения. Если оно будет менее 218 В (в этом случае яркость свечения лампы пониженная), необходимо изменить фазировку подключения любой из обмоток трансформатора Т1 (для чего достаточно поменять выводы местами). Конечно, делать это надо при отключенном устройстве.

Кроме симистора, для управления нагрузкой можно приспособить и реле, подключив его вместе с транзистором, как это показано на рис. 15.21. Вместо

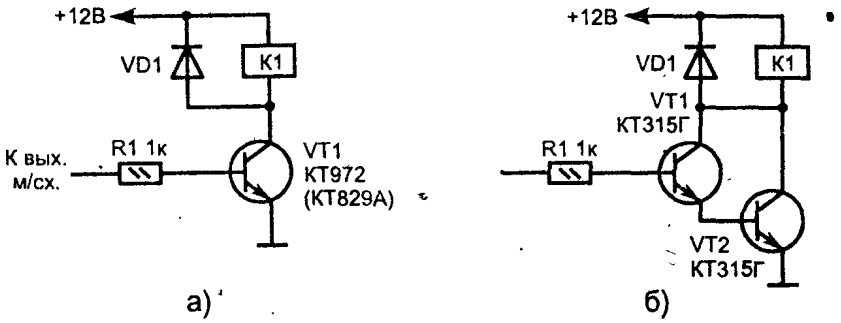


Рис. 15.21. Подключение электромагнитного реле к схеме автомата

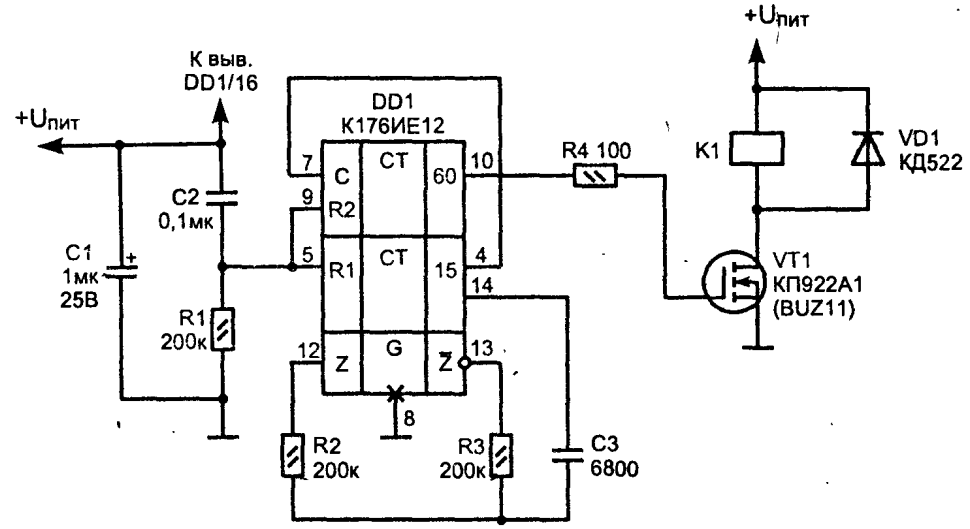


Рис. 15.22. Вариант схемы автомата для периодического включения сетевых устройств

полевого транзистора можно установить и биполярный с большим коэффициентом усиления и допустимым током не менее 200 мА. Такими являются составные транзисторы КТ972, КТ829(А, Б) и др.

Аналогичный циклический таймер можно выполнить на микросхеме К176ИЕ12, но к ней времязадающие элементы генератора подключаются иначе, рис. 15.22. ■

Таймер для забывчивых

В каждой квартире есть вспомогательные помещения, такие, как кладовка, коридор и туалет. Обычно свет там требуется ненадолго, после чего нужно не забыть отключить освещение. Но многие из-за рассеянности оставляют свет включенным, что приводит к лишнему расходу электроэнергии, а значит, и денег.

Чтобы избавиться от этой проблемы, можно воспользоваться устройством автоматического отключения освещения через заданный интервал времени, если вы сами не сделаете это раньше. Приведенный вариант таймера, в отличие от опубликованных аналогов, имеет меньшие размеры, удобнее в эксплуатации, проще в изготовлении и подключении, так как не требует установки дополнительных датчиков и кнопок. Работу этого устройства вы редко будете замечать, а сэкономить оно позволит немало денег.

Электрическая схема цифрового таймера показана на рис. 15.23. Она имеет бестрансформаторное питание от сети. Это позволяет сделать конструкцию малогабаритной, что удобно при размещении. Устройство устанавливается вблизи лампы и подключается в разрыв проводов, идущих к лампе.

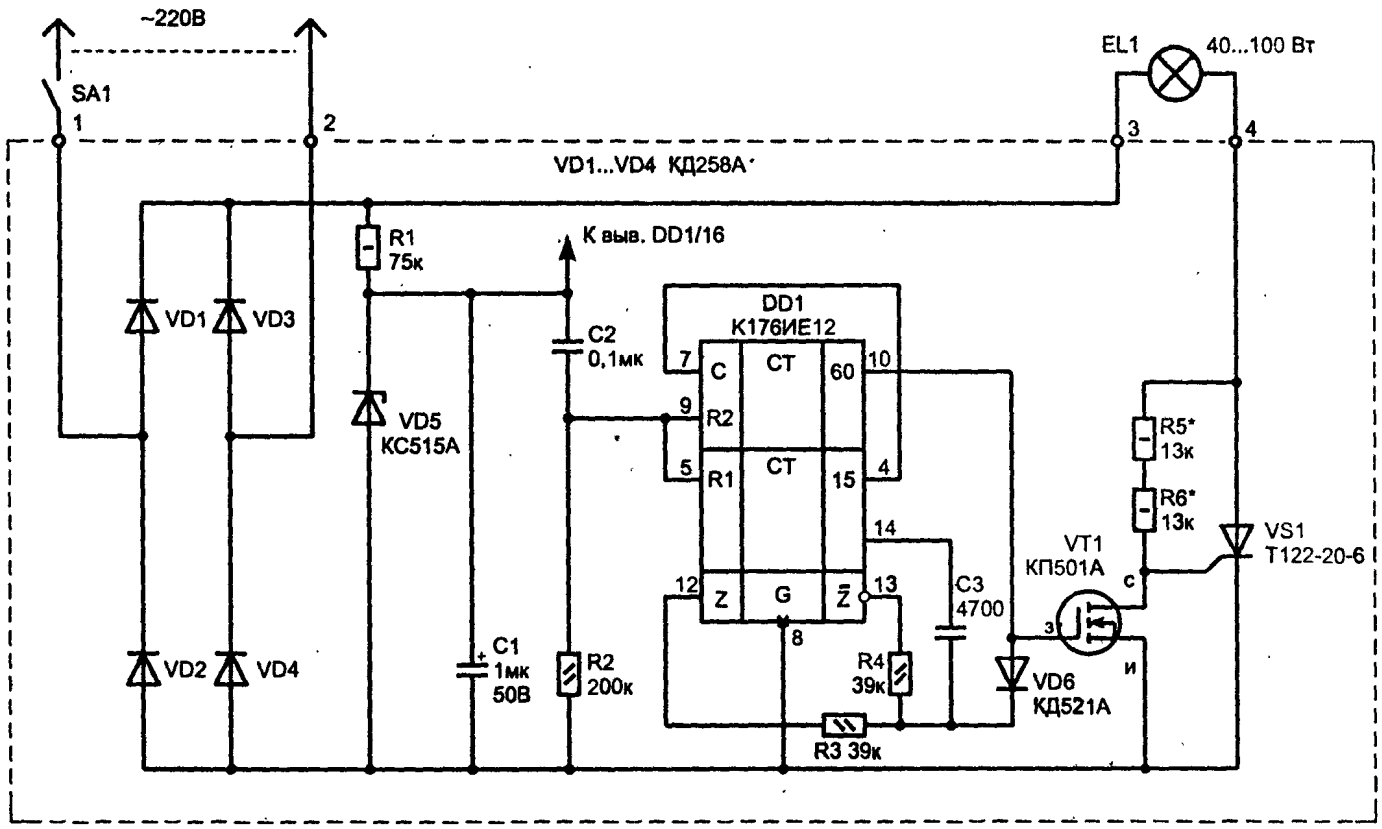


Рис. 15.23. Электрическая схема сетевого таймера

Схема начинает работать только при включении освещения обычным включателем (SA1). Лампа освещения EL1 будет светиться в течение 9 мин, конечно, если до этого момента вы сами ее не отключите. Происходит это потому, что в начальный момент тиристор VS1 будет полностью открыт за счет проходящего через резисторы R5–R6 управляющего тока (транзистор VT1 закрыт). Эти резисторы из-за разброса параметров тиристоров при настройке устройства могут потребовать подбора так, чтобы их общее сопротивление было в диапазоне 24...30 кОм. От них зависит яркость свечения лампы.

Сам таймер собран всего на одной микросхеме К176ИЕ12, которая содержит внутри автогенератор с внешними задающими частоту элементами и счетчики импульсов. Временной интервал задержки отключения зависит от емкости конденсатора С3 и может быть легко изменен.

Как только на выходе DD1/10 счетчика появится лог. 1, откроется полевой транзистор VT1, что приведет к закрыванию тиристора VS1 — его управляющий электрод будет закорочен. Свет выключится. Для того чтобы это состояние зафиксировалось, установлен диод VD6. Он обеспечивает прекращение работы задающего RC-автогенератора, подавая запирающее напряжение с выхода счетчика. Когда на DD1/10 лог. 0, этот диод на работу автогенератора влияния не оказывает.

После отключения света таймером для повторного включения освещения потребуется выключить и включить SA1. При этом цепью из элементов C2–R1 формируется импульс обнуления счетчиков микросхемы и отсчет временного интервала начинается сначала. Чтобы сформировать импульс обнуления, конденсатор C1 должен за короткое время отключения питания схемы успеть разрядиться. Поэтому его номинал не рекомендуется устанавливать больше, чем это указано на схеме.

Для монтажа устройства использована односторонняя печатная плата с размерами 75 × 40 мм (рис. 15.24). Внешние подключения выполняются через четыре контактных зажима (X1), припаянных на плате.

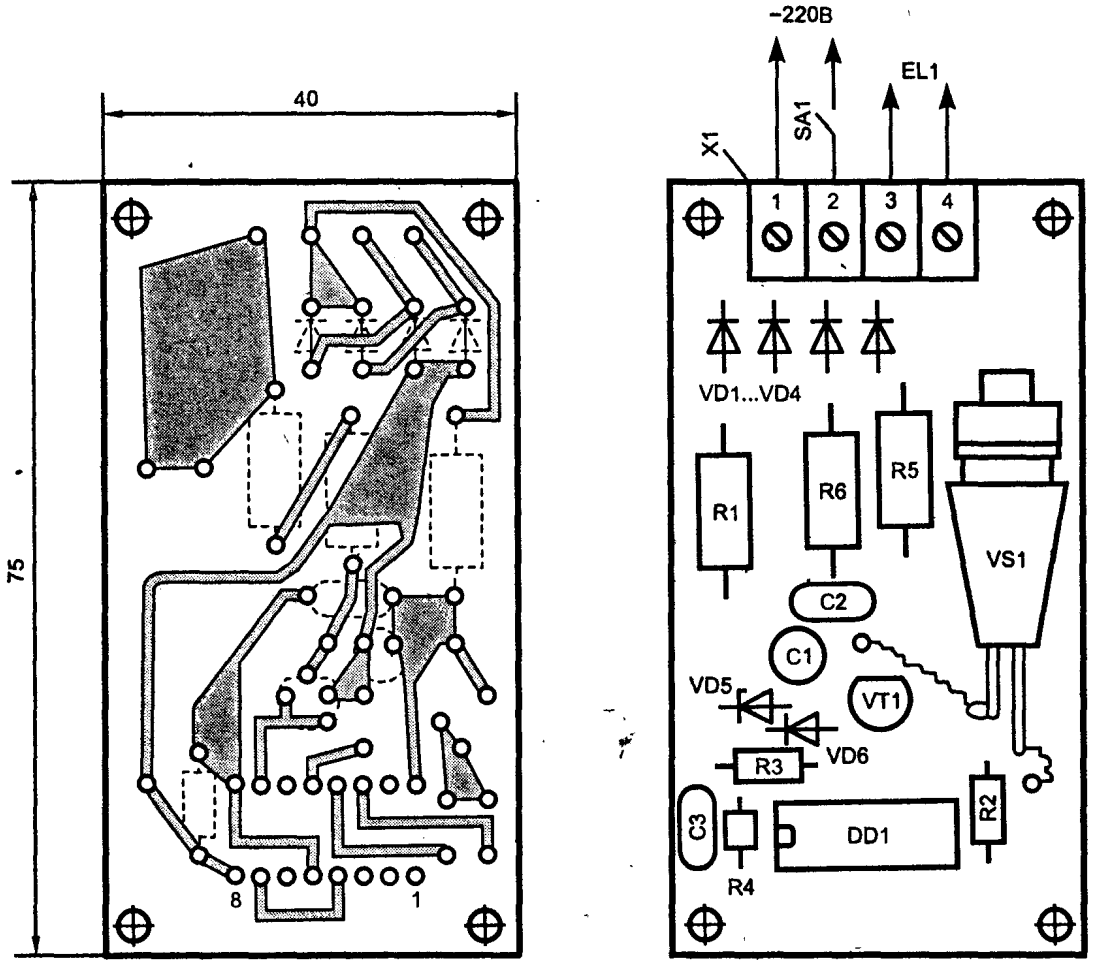


Рис. 15.24. Топология печатной платы и расположение элементов

При сборке применены все резисторы типа МЛТ с указанной на схеме мощностью.

Конденсаторы могут быть любыми малогабаритными. Стабилитрон VD1 подойдет с произвольной последней буквой в обозначении, но обязательно в пластмассовом корпусе, иначе он не поместится на приведенной печатной плате. Диод VD2 — любой из импульсных.

При правильной сборке и исправных деталях схема начинает работать сразу, а настройка заключается в выборе необходимого интервала времени, в течение которого включено освещение. ■

Микрофон для компьютера

Микрофон — ухо общего пользования.
Рамон Гомес де ла Серна

Сегодня имеется довольно много интерактивных компьютерных программ, в которых необходим микрофон. Это помогает изучать иностранные языки (компьютер контролирует произношение). Есть программы, которые позволяют с вашего голоса печатать текст или развлекать песнями по типу «караоке». С установленным микрофоном любой компьютер легко превращается в цифровой магнитофон. И это далеко не все, на что он способен! Но мы отвлеклись — данная тема для отдельного разговора, пока же давайте вернемся к «железу».

Мировая промышленность выпускает немало моделей различных компьютерных микрофонов. Но если вы его покупаете не в комплекте со звуковой картой, то довольно велика вероятность столкнуться с проблемой совместимости. Его чувствительность может быть мала, а качество работы оставит желать лучшего. Придется сожалеть о напрасно потраченных деньгах, да и стоит такая «штучка» (даже китайского производства) не дешево. Но есть простой вариант решения этой проблемы. Он не только обойдется намного дешевле, но и качество будет значительно выше.

Вам потребуется приобрести любой малогабаритный отечественный или импортный электретный микрофон (см. табл. 7.2 из первой книги, где описаны их особенности). Для того чтобы получить достаточный уровень звукового сигнала, потребуется усилитель.

На рис. 15.25 приведена схема универсального микрофонного усилителя. Так как для ее питания используются дополнительные гальванические элементы, установленные прямо на плате, она может подключаться не только к компьютеру.

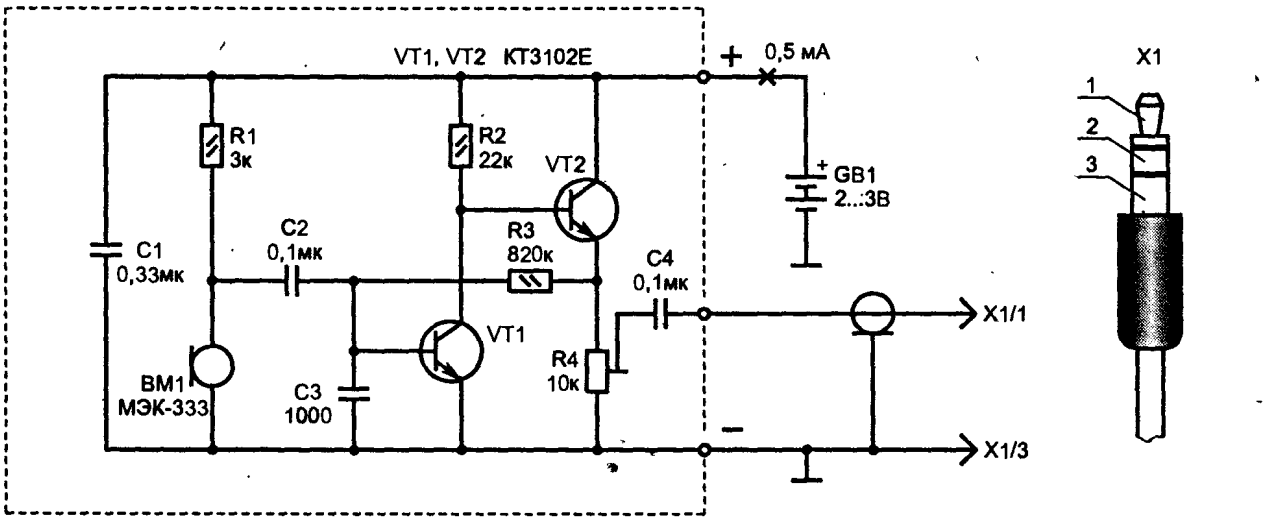


Рис. 15.25. Универсальный микрофонный усилитель

Схема работает в режиме микротоков и потребляет очень мало (не более 0,5 мА). Поэтому для ее питания подойдут любые гальванические элементы.

Приведенная для сборки на рис. 15.26 конструкция печатной платы предусматривает установку элементов типоразмера ААА.

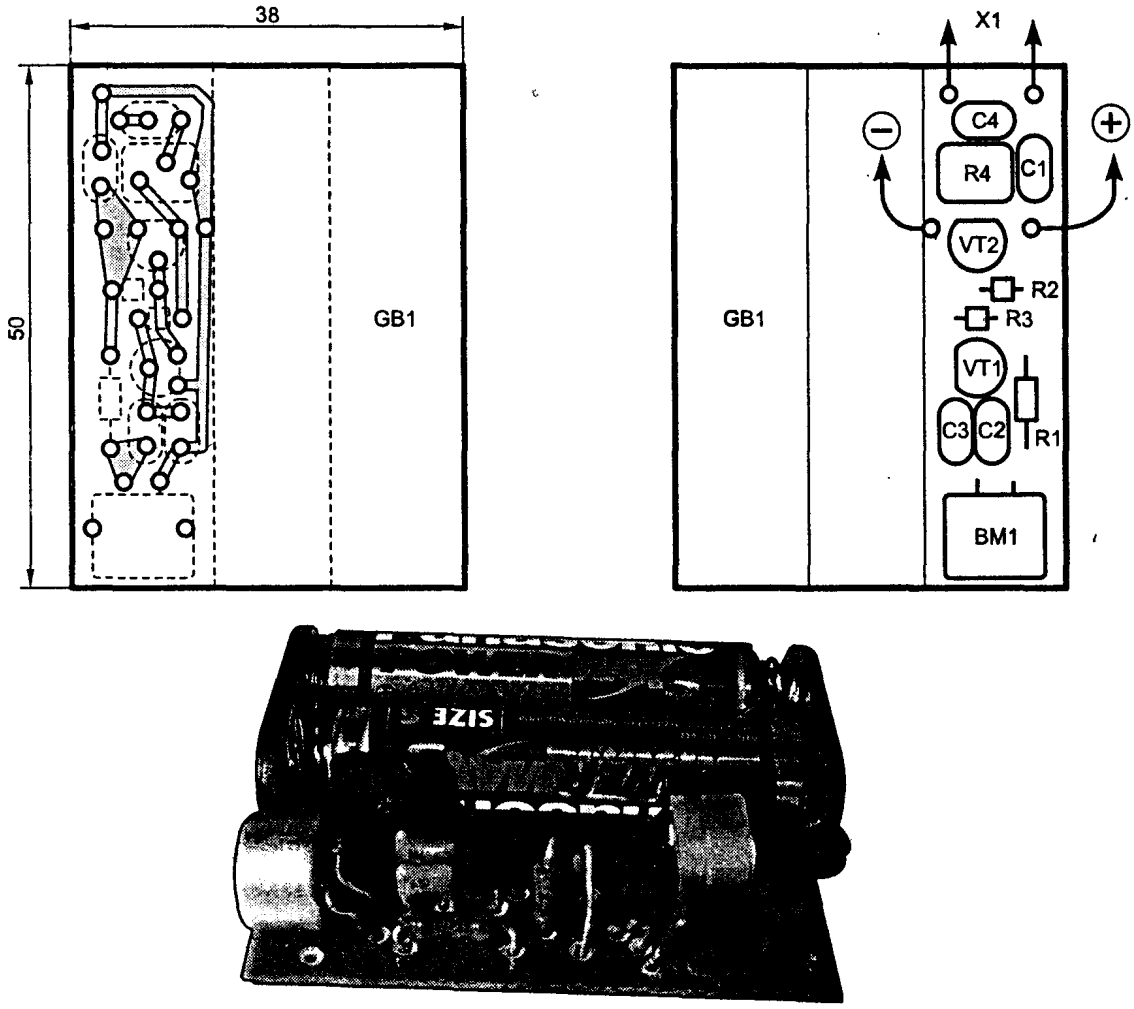


Рис. 15.26. Топология печатной платы, расположение элементов и внешний вид монтажа

Во многих современных звуковых картах на входном гнезде имеется небольшое постоянное напряжение. Например, в распространенной карте Creative Live 5.1 это напряжение составляет 5 В. Им вполне можно воспользоваться

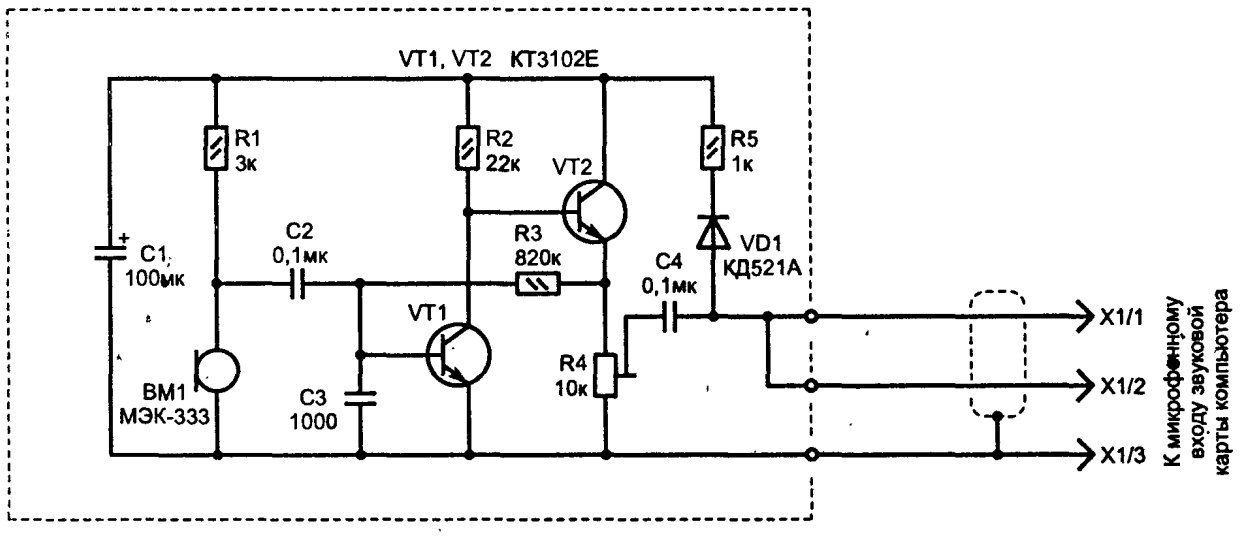


Рис. 15.27. Микрофонный усилитель с питанием от звуковой карты

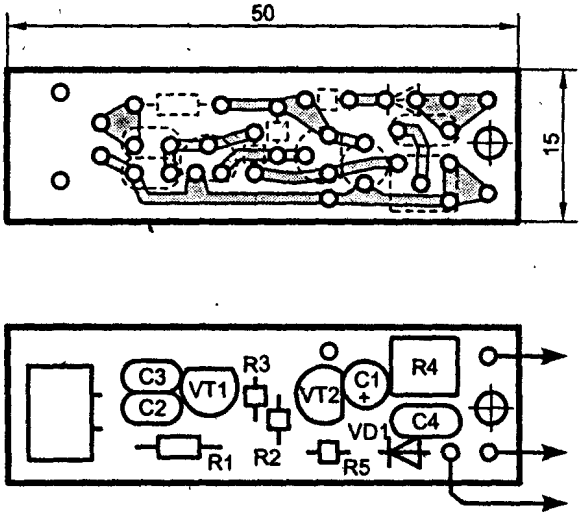


Рис. 15.28. Топология печатной платы и расположение элементов микрофонного усилителя

для питания микрофонного усилителя (для чего, собственно, оно и предназначено). Правда, схему потребуется немного изменить, как это показано на рис. 15.27.

С таким усилителем вам не потребуется кричать в микрофон, он без труда сможет записать любой тихий разговор в помещении. Но, так как все микрофоны имеют большой разброс по чувствительности, при необходимости, нужный уровень сигнала можно установить при помощи подстроечного резистора R4. ■

Ретранслятор команд на ИК-лучах

Как много прекрасных вещей окружает теперь человека!
И с каждым днем все плотнее, плотнее...

Михаил Генин

Большая часть современной радиоаппаратуры предусматривает дистанционное управление от пульта, излучающего инфракрасные (ИК) лучи. Это излучение имеет длину волны 0,78...1,0 микрометра и лежит в невидимой части спектра. Такой сигнал, так же как и обычный видимый глазом свет (у него длина волны находится в диапазоне 0,38...0,78 мкм), подчиняется законам оптики и из-за малой мощности распространяется на небольшое расстояние. Обычно пульт управления действует не более чем с 5...6 м. Но иногда требуется управлять радиоаппаратурой с большего расстояния или же из соседней комнаты. Возможна ситуация, когда радиоаппаратуру удобнее установить скрытно и так, что прямая оптическая связь между ИК-передатчиком и ИК-приемником будет отсутствовать или она окажется затрудненной. Во всех этих случаях нужен ретранслятор команд.

Самая простая схема, способная выполнить эту задачу, приведена на рис. 15.29. Она позволяет преобразовать ИК-лучи в электрический сигнал, который передается по проводам на нужное расстояние, а затем этот сигнал опять превратить в ИК-лучи. Схема состоит всего из двух транзисторов: усилителя напряжения (VT1) и усилителя тока (VT2). Между базой и коллектором первого транзистора установлен инфракрасный фотодиод (VD1). Сигнал с фотодиода довольно слабый, для его усиления по напряжению и необходим VT1. Обратное включение ИК-фотодиода позволяет получить большую чувствительность и динамический диапазон — его сопротивление под действием ИК-лучей меняется, изменяя ток базы транзистора, что приводит к изменению тока коллектора в соответствии с коэффициентом усиления.

В данной схеме небольшая внешняя засветка фотодиода не влияет на работу, благодаря отрицательной обратной связи через сам фототодиод. Увеличение

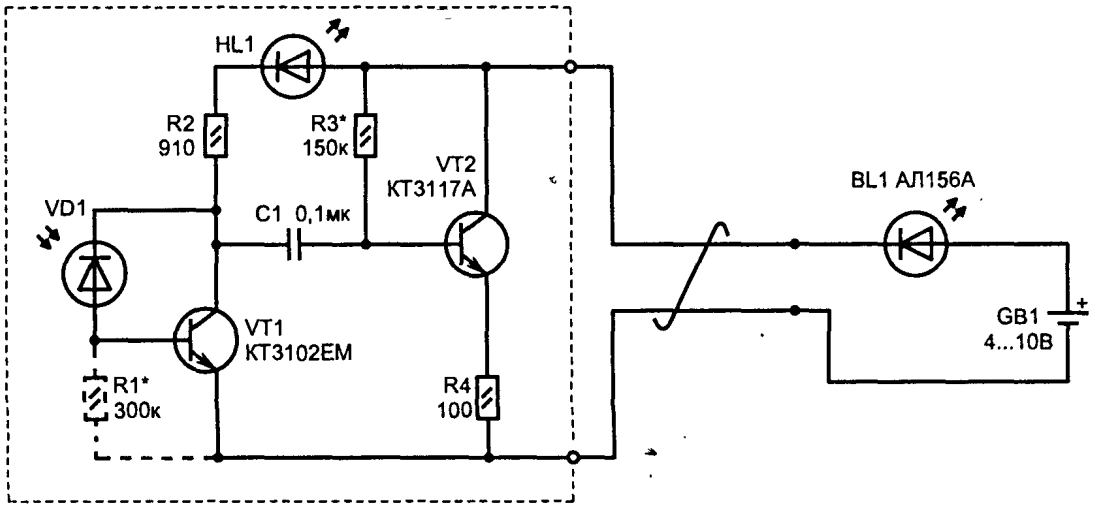


Рис. 15.29. Схема ретранслятора ИК-команд

постоянного тока через BL1 приводит к уменьшению напряжения на коллекторе VT1, что в свою очередь уменьшает ток через фотодиод. Мигание светодиода HL1 в такт импульсам ИК-передатчика говорит о том, что схема работает и кодовая посылка принята для ретрансляции. Импульсы с коллектора VT1 через конденсатор C1 поступают на каскад эмиттерного повторителя для увеличения тока, проходящего по цепи питания.

Излучающий фотодиод включен последовательно в цепь питания на удаленном конце провода, и импульсы тока, проходящие через него, вызывают ИК-излучение. Этот ИК-диод располагается на небольшом расстоянии (не более 20 см) от фотоприемника радиоаппаратуры.

Дальность, на которой воспринимает команды фотоприемник ретранслятора, зависит от типа и чувствительности установленного в схему ИК-фотодиода (это расстояние может достигать 40 см). Так как у фотодиодов разных типов разное обратное сопротивление, подбор резистора R1 позволяет убрать подсвечивание индикатора HL1, если оно есть при отсутствии команд.

Схема сохраняет работоспособность при изменении питающего напряжения от 4,5 до 10 В. При этом потребляемый ток составляет 1,5...2,5 мА (во время ретрансляции импульсов увеличивается на 2 мА). Ток, потребляемый схемой, надо проверить и если он больше, чем указано, то подобрать (увеличить) резистор R3.

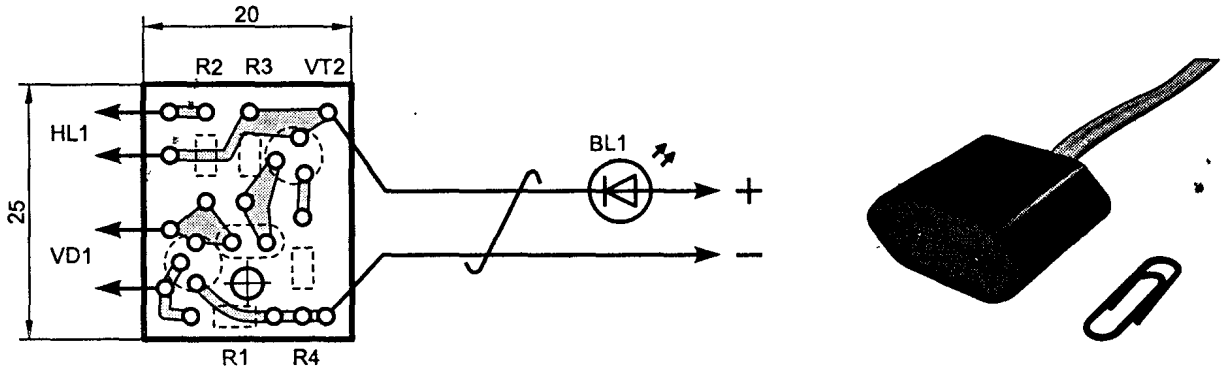


Рис. 15.30. Топология печатной платы и внешний вид конструкции

Несколько слов о деталях. Светодиод HL1 использован с диаметром корпуса 3 мм (из серии КИПД24 или аналогичных импортных) — им для свечения достаточно небольшого тока (1...5 мА), в отличие от других типов. В качестве ИК-излучающих и приемных диодов подойдут очень многие типы из современных отечественных или импортных. Транзистор VT2 можно заменить на любой из серии КТ3102, но в этом случае потребуется подбор резистора R1 (в некоторых случаях он может вообще не устанавливаться). Резисторы и конденсаторы годятся любые.

Кроме излучающего ИК-диода (BL1), для монтажа всех остальных элементов можно воспользоваться печатной платой, показанной на рис. 15.30. Ее миниатюрные размеры позволяют в качестве корпуса взять колпачок от сетевой вилки (именно он показан на рисунке) или же коробку от конфет «Тик-так». ■

Как сделать «Люстру Чижевского»

Медицина за последнее время ушла
далеко вперед от тех, кого лечит.
Михаил Генин

Устройство названо так в честь своего гениального изобретателя, биофизика и основоположника гелиобиологии, Александра Леонидовича Чижевского (1897—1964). Благодаря своим достижениям он был принят почетным членом 18 академий мира. Многогранная научная и литературная деятельность ученого позволила американцам с восхищением его называть «Леонардо да Винчи XX века». Его идеи были настолько передовыми, что не все современники готовы были к их пониманию. На вопрос, чему он, собственно, посвятил себя, сам ученый отвечал: «Электричеству жизни!».

Давайте познакомимся с одним из изобретений А. Л. Чижевского. Как вы знаете из первой книги, в воздухе всегда имеются ионизированные молекулы — ионы (положительные и отрицательные). Ученый установил, что, чем в воздухе больше отрицательных аэроионов, тем он полезнее. Электрометрические измерения показали интересную зависимость содержания аэроионов в разных местах, приведенную в табл. 15.3.

Таблица 15.3. Содержание отрицательных аэроионов в разных местах

Места измерений	Концентрация аэроионов в 1 см^3 воздуха
Воздух после грозы	50 000...100 000
Воздух у водопада	10 000...50 000
На горном курорте	5000...10 000
В лесу и на море	700...5000
На городской улице	100...500
Городская квартира	25...100

Из таблицы видно, что в жилых помещениях концентрация сильно снижается — аэроионов в десятки раз меньше, чем это необходимо для того, чтобы быть здоровым. Такого количества еле хватает для жизни, способствует быстрой утомляемости, а также появлению разных заболеваний. Но лучше все же не доводить дело до необходимости лечения, а создать нужную концентрацию искусственно. Увеличить насыщенность воздуха в помещении отрицательными аэроионами можно с помощью специального устройства — аэроионизатора.

Сегодня существуют научно обоснованные нормы по содержанию отрицательных ионов, в которых указано, что необходимым минимумом в производственном помещении должно являться 600 ионов/см^3, а оптимальное содержание 3000...5000 ионов/см^3. Как этого можно добиться? Ведь основная часть молекул воздуха электрически нейтральна... В естественных условиях причиной ионизации может являться энергия фотонов света, ударная энергия (при столкновении разогретых движущихся молекул), а также излучения радиоактивных микрочастиц. В природе некоторые растения способны выделять отрицательные ионы в больших количествах. Более редкой причиной ионизации служит электростатическое поле, например во время грозы. Подробно с физикой происходящих процессов можно познакомиться в статье [2].

Профессором Чижевским был разработан принцип искусственной аэроионизации воздуха в помещениях и создано первое устройство для этих целей — электроэффлювиальная люстра («эффлювий» — по-гречески означает «истечение»). Она впоследствии получила более короткое название: «Люстра Чижевского» — ведь конструкция была немного похожа на люстру и крепилась к потолку. В авторском варианте излучатель выполняется в виде обруча (диаметром 75...100 см), внутри которого натянута проволочная сетка, рис. 15.35, *а*. В узлах сетки закреплено много острых иголочек длиной 34...45 мм. Когда к иголочкам подведено высокое отрицательное напряжение, с них стекают заряды (электроны), которые присоединяются к молекулам воздуха, превращая их в отрицательные аэроионы [3].

Экспериментально было установлено, что действие аэроионизатора увеличивает активную жизнь всех живых организмов. Но в этом нет ничего удивительного, ведь в горах, где воздух перенасыщен отрицательными аэроионами, живет рекордное число долгожителей. Многочисленные эксперименты профессора А. Л. Чижевского и его сотрудников на животных доказали, что дышать воздухом без отрицательных аэроионов невозможно. Например, морские свинки и кролики, находящиеся в помещении с полностью очищенным от отрицательных ионов воздухе, очень скоро заболевали и умирали. Если же воздух был насыщен отрицательными аэроионами выше обычного уровня, то животные не только очень комфортно себя чувствовали, но и прибавляли в весе.

Идеи нашего ученого заинтересовали многих. Например, вот фраза из одного отчета американских ученых, посвященных исследованиям аэроионов: «Влияние отрицательных заряженных аэроионов, не имеющих ни вкуса ни запаха, схоже с действием витаминов A, E и D, а в ряде случаев обладает более выраженным лечебным эффектом...».

Отрицательные аэроионы в состоянии помочь при лечении и профилактике десятков самых массовых заболеваний. Это болезни органов дыхания, сердечно-сосудистой и нервной систем. Сейчас уже известно, что причиной многих, причем совершенно разных болезней является то, что клетки организма теряют заряд. Отрицательные аэроионы легко проникают через легкие в кровь и передают свой заряд клеткам, тем самым, восстанавливая их нормальную работу. Отрицательные ионы также увеличивают активность крови — основного поставщика кислорода клеткам. Кроме того, под действием отрицательных аэроионов в организме вырабатывается особое вещество, которое замедляет старение («изнашивание») тканей. Целебное действие отрицательных аэроионов кислорода воздуха более подробно объясняется современной биоэнергетикой, но, чтобы глубоко понять суть происходящих процессов, требуется получить соответствующее образование.

Применение генератора отрицательных ионов особенно актуально в наше время, когда вокруг много электронных приборов (телевизоров, компьютеров и др.), способных притягивать к себе отрицательные ионы и таким образом их нейтрализовать (разряжать). Но в городской квартире, даже не имеющей электронных приборов, присутствует очень мало отрицательных ионов. Чижевский еще в 30-е г. предсказал «аэронный голод» и придумал эффективное средство борьбы с ним, которое до сих пор считается идеальным.

На протяжении многих десятилетий аэроионизаторы прошли всестороннюю проверку в лабораториях, медицинских учреждениях, школах и в домашних условиях, показав высокую эффективность аэроионизации в качестве профилактического и лечебного средства. Но, к сожалению, ионизаторы воздуха промышленного изготовления довольно дороги. В то же время собрать такое устройство по силам даже начинающему радиолюбителю. Поэтому рассмотрим, как можно изготовить аэроионизатор самостоятельно. ■

Электрическая схема

Согласно исследованиям профессора, только аэроионы, полученные от источника напряжения −25000...45000 В, обладают ярко выраженным лечебным эффектом. При ионизации меньшим напряжением продолжительность существования («живучесть») таких ионов очень небольшая, они быстро нейтрализуются положительными зарядами (меньшее напряжение часто используется в электростатических очистителях воздуха).

Чем больше объем помещения, тем большее напряжение желательно иметь. Для помещения типа классной комнаты или школьного спортивного зала оптимальным является напряжение −40...50 кВ. Не проблема получить напряжение и выше, но делать это все же не стоит, так как увеличивается вероятность появления коронного разряда (свечение синего цвета на кончике иголок) и образования озона — нового химического соединения кислорода, имеющего характерный запах. Появление озона не только снижает эффективность работы устройства, но и в больших количествах вредно, а это уже другая история.

Рассмотрим схему, обеспечивающую получение высокого напряжения, рис. 15.31. Она состоит из однополупериодного выпрямителя (VD1), заряжаю-

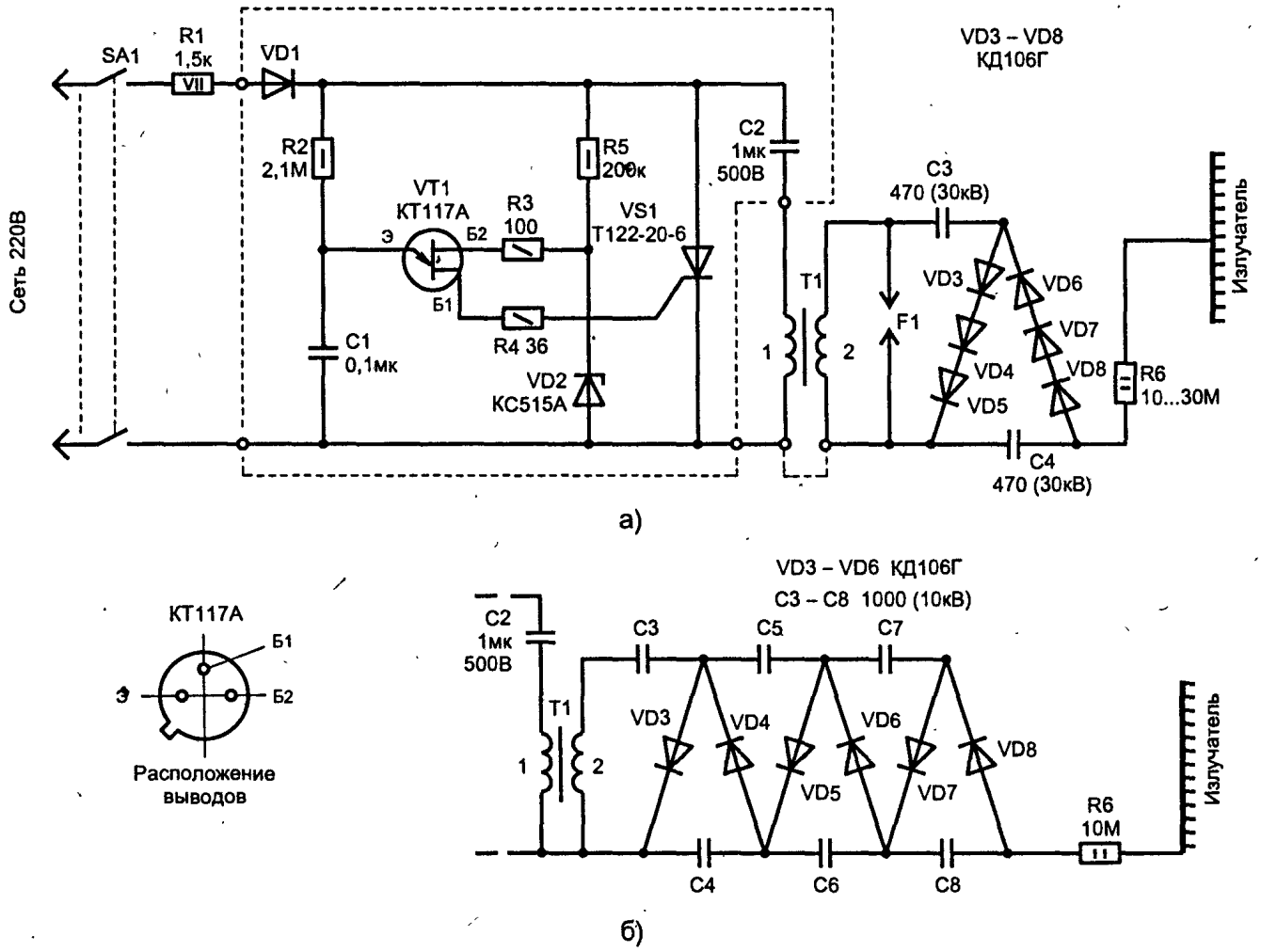


Рис. 15.31. Электрическая схема преобразователя (а) и дополнительные каскады умножителя (б) при использовании в качестве Т1 стандартной автомобильной катушки зажигания (типа Б115)

щего высоковольтный конденсатор (С2) и автогенератор на однопереходном транзисторе (VT1), который управляет открыванием тиристора (VS1). Частота работы автогенератора синхронизирована с сетевой частотой, так как на него поступает пульсирующее напряжение. Момент открывания тиристора выбран (при помощи резистора R2) так, чтобы конденсатор С2 успел зарядиться до максимальной амплитуды сетевого напряжения. При открывании тиристора происходит быстрый разряд конденсатора С2 через первичную обмотку трансформатора Т1. Возникающий при этом импульс тока наводит во вторичной обмотке Т1 импульсное напряжение. Напряжение от вторичной обмотки выпрямляется классическим диодным умножителем (в два раза). Пульсация сглаживается конденсатором С4. На излучатель через ограничительный резистор R6 поступает уже постоянное отрицательное напряжение. Соединение первичной и вторичной обмоток трансформатора, показанное на схеме пунктиром, не является обязательным — его лучше использовать в крайнем случае, если эффективность работы люстры недостаточна.

Такое построение схемы делает ее некритичной к выбору типа большинства элементов. Следует обратить внимание, что конденсатор С2 можно использовать только из тех типов, что допускают работу при напряжении 500 В в жестком («жестоком») режиме:-заряд-разряд, например, МБМ, ОМБМ, МБГ (конструкция платы предусматривает установку С2 типа ОМБГ-2 на 630 В); кон-

денсаторы С3, С4 типа К15-4 на рабочее напряжение 30 кВ (от телевизора). Резисторы: R1 типа ПЭВ на 7,5 Вт; R6 может иметь номинал 10...30 МОм, например типа С3-14-1 или КЭВ-1 (он может быть составлен из нескольких последовательно соединенных резисторов МЛТ-2). В качестве высоковольтных выпрямителей желательно использовать диоды с обратным напряжением не менее 7 кВ (допустимый ток подойдет любой, но при большом токе возрастают и габариты всей конструкции, а это плохо). Такие диоды вы найдете не во всяком справочнике, поэтому для облегчения подбора замены можно воспользоваться приведенной ниже таблицей.

Таблица 15.4. Основные параметры высоковольтных диодных столбов

Типы столбов	Импульсное обратное напряжение, В, не более	Постоянный прямой ток, мА	Постоянный обратный ток, мкА, не более (при 25°С)
КЦ105Г	7000	50	100
КЦ105Д	8500	50	100
2Ц106В, КЦ106В	8000	10	10
2Ц106Г, КЦ106Г	10000	10	10
КЦ110А	10000	100	100
КЦ110Б	15000	100	100
КЦ206А	9500	350	100
КЦ206Г	8000	350	100
HVM8	8000	350	5
HVM10	10000	350	5
HVM12	12000	350	5
HVM14	14000	350	5
HVM15	15000	350	5

Для монтажа элементов, выделенных на электрической схеме пунктиром, использована печатная плата, рис. 15.32 (на ней сами элементы, установленные с обратной стороны, показаны пунктиром). Элементы умножителя соединяются объемными проводниками и заливаются парафином или герметиком, аналогично, как это описано далее, для высоковольтного трансформатора Т1. Соединительные провода для высоковольтной части были взяты от старого, отслужившего телевизора.

Импульсный высоковольтный трансформатор — наиболее трудоемкая при изготовлении часть устройства и потребует внимательности и аккуратности. Впрочем, если у вас нет опыта в изготовлении намоточных изделий, то в качестве Т1 можно взять серийную промышленную катушку от автомобильной или мотоциклетной системы зажигания. Но в этом случае габариты всего устройства существенно увеличатся, да и из-за меньшего коэффициента трансформа-

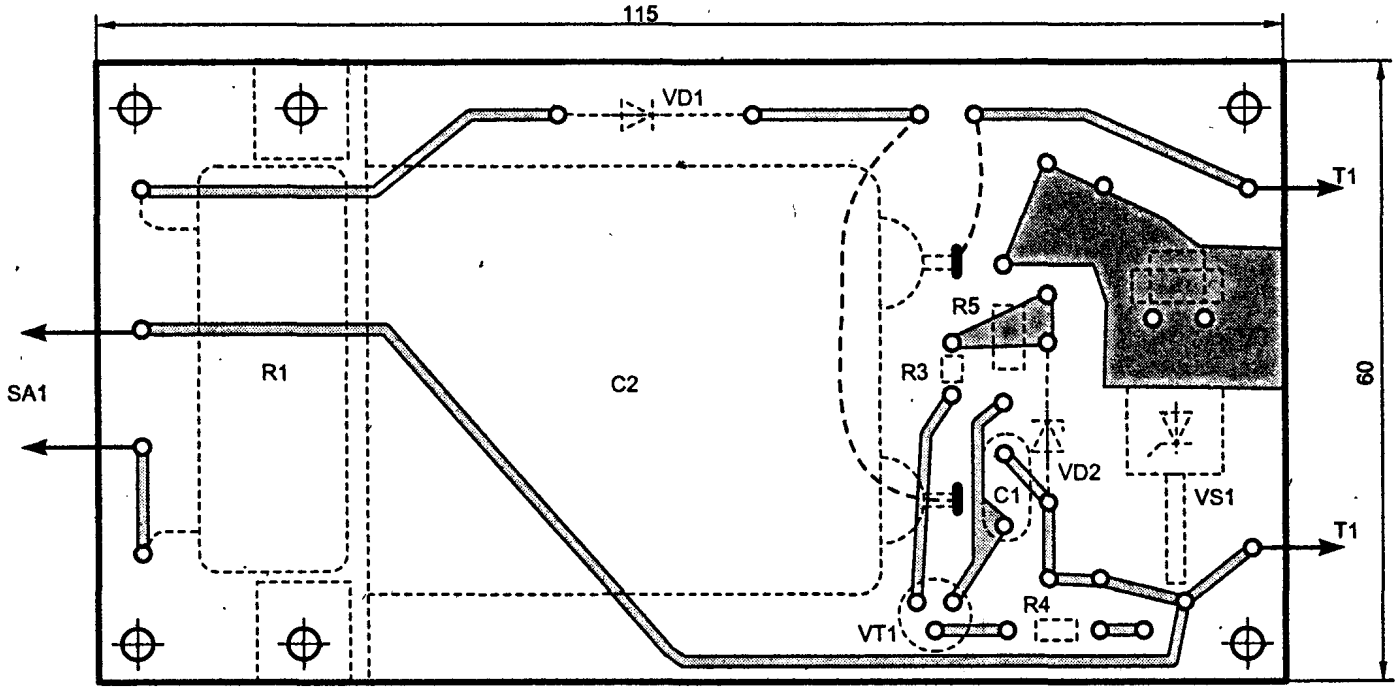


Рис. 15.32. Топология печатной платы для монтажа схемы преобразователя

ции в умножитель придется добавить дополнительные каскады, как это показано на рис. 15.31, *б*, что тоже потребует много дополнительного места.

Теперь о том, как самому можно сделать высоковольтный трансформатор. Конструкция у него очень простая — в качестве магнитопровода используются прямоугольные пластины из трансформаторного железа, набранные в пакет, рис. 15.33. Так как при работе магнитное поле в такой катушке незамкнутое, это исключит намагничивание сердечника постоянной составляющей напряжения в первичной обмотке («подмагничивание»).

Намотка обмоток Т1 выполняется виток к витку (сначала вторичную обмотку). Обмотка 2 содержит 1800...2000 витков проводом ПЭЛ диаметром 0,08...0,12 мм (в четыре слоя, между которыми прокладываются слои диэлектрика). Межслойную изоляцию лучше выполнять из нескольких витков тонкой (0,1 мм) фторопластовой ленты, но подойдет также и конденсаторная бумага — ее можно достать из высоковольтных неполярных (бумажных) конденсаторов. Первичная обмотка содержит 20 витков проводом диаметром 0,35 мм — над ней изоляция не нужна.

После намотки обмоток весь трансформатор герметизируют путем заливки двухкомпонентным эпоксидным клеем (он должен быть разведен достаточно жидким). В клей перед использованием желательно еще добавить несколько капель конденсаторного масла (пластификатор) и хорошо его перемешать. При перемешивании в заливочной массе клея не должно образовываться пузырьков воздуха (на это следует обратить особое внимание, так как у воздуха пробивное напряжение намного меньше, чем у герметика, и пузыри могут послужить причиной внутренних пробоев). Для хорошего перемешивания смесь до заливки можно даже немного разогреть, а саму заливку нужно выполнять медленно, чтобы воздух вытеснялся из намотанного трансформатора, не образовывая внутренних пузырей.

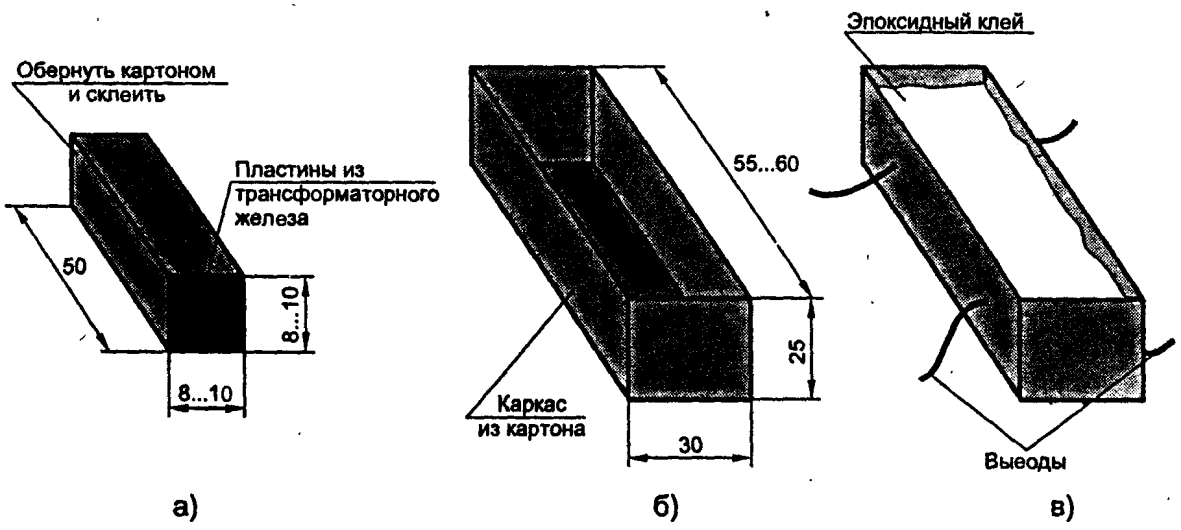


Рис. 15.33. Конструкция магнитопровода (*а*) для намотки трансформатора Т1; каркас для герметизации (*б*) и вид сборки после заливки герметиком (*в*)

Для удобства заливки потребуется предварительно изготовить картонный каркас с габаритами чуть больше размеров намотанной конструкции трансформатора — это примерно 55 × 30 × 25 мм, где и выполняется герметизация. Для выводов обмоток на гранях каркаса в соответствующих местах заранее делаются отверстия. Чтобы жидкий клей не вытекал в местах выводов, их можно временно закрыть пластилином.

У вас наверняка возник вопрос, а зачем нужны такие хитрости с заливкой? К сожалению, если ее не сделать, то высокое напряжение будет пробивать воздух и давать искру не там, где нам надо, а где оно само посчитает удобным. В этом случае на выходных выводах вторичной обмотки не удастся получить нужное напряжение.

Теперь, чтобы труд не пропал даром, несколько слов об аккуратности. Весь процесс намотки должен проходить в чистоте. Во-первых, если у вас нет намоточного приспособления, которое исключает касание провода руками при намотке, то потребуется запастись тонкими хлопчатобумажными перчатками. Они позволят изолировать потные жирные «ручонки» от провода и диэлектрика. Это в дальнейшем уменьшит вероятность появления внутренних пробоев и утечек внутри трансформатора. Во-вторых, в начале намотки слоя провод нужно зафиксировать обычными нитками — аналогично делается фиксация витков в конце каждого слоя, иначе он может соскочить и запутаться. В-третьих, на выводы высоковольтной обмотки лучше надеть фторопластовые трубки.

Изготовленный таким образом трансформатор может обеспечить во вторичной обмотке амплитуду напряжения больше 15...30 кВ (он использовался даже в электрошоковом устройстве [4]), но, чтобы исключить появление внутреннего пробоя внутри катушки при повышенном напряжении в режиме холостого хода (когда ко вторичной обмотке не подключена нагрузка, которой является излучатель), включать его без защитного разрядника (F1) не рекомендуется. Защитный разрядник F1 выполняется из двух оголенных проводов диаметром 0,5...1 мм, расположенных на расстоянии 10...12 мм.

Вид электродов разрядника F1 показан на рис. 15.34. Элементы конструкции — плата с элементами и трансформатор (их условное расположение также

показано на рисунке) крепятся на основании из оргстекла толщиной 5...6 мм, которое после сборки накрывается пластмассовой крышкой.

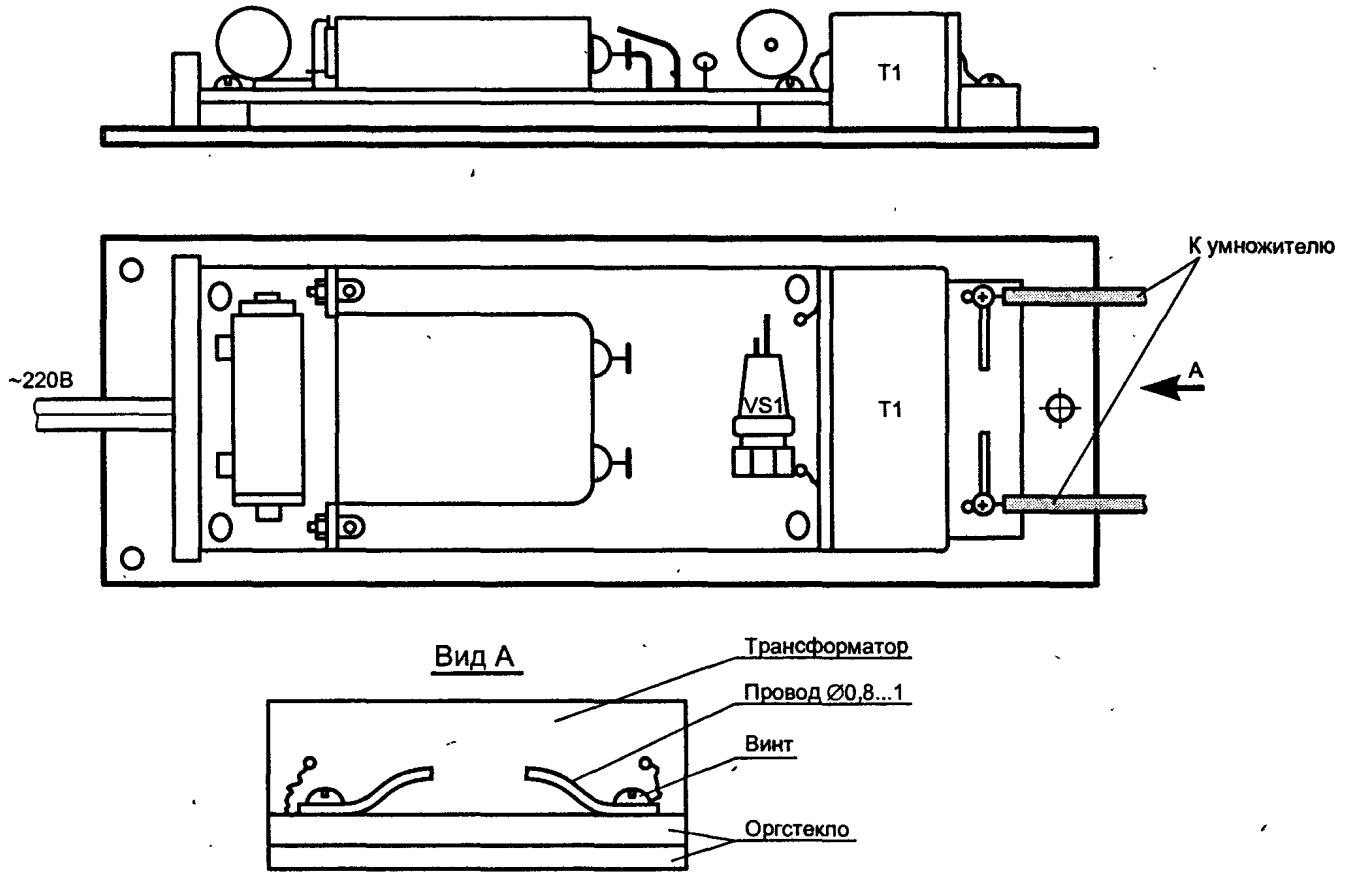


Рис. 15.34. Расположение элементов и узлов высоковольтного преобразователя

Монтаж высоковольтного выпрямителя сделан в виде отдельного узла (коробки, размещаемой вблизи преобразователя). При его сборке следует обеспечить между выводами диодов и конденсаторов достаточное расстояние, исключающее образование коронных разрядов и токов утечки. После монтажа и проверки работы все выводы покрываются расплавленным парафином, иначе избежать коронных разрядов не удастся. Высоковольтный преобразователь напряжения желательно установить вблизи от излучателя (0,5...1 м). ■

Конструкция излучателя

От конструкции излучателя и места его установки во многом зависит эффективность работы аэроионизатора. Размеры излучателя, предложенного Чижевским, предназначены для больших помещений: залов, производственных цехов и т. п. В обычной квартире такие габариты просто не нужны, к тому же они не украсят помещение.

Такое устройство необязательно должно подвешиваться к потолку (как люстра). Например, промышленностью выпускаются малогабаритные настенные и настольные варианты для небольших бытовых помещений (конструкцию этих излучателей можно посмотреть в магазине). Большинство из них имеет каркас с натянутой проволочной сеткой, в узлах которой припаяны иголочки. Аналогичную рамку несложно сделать самостоятельно. Но все же лучше будет

не копировать слепо промышленные излучатели, а форму у них делать с учетом удобства размещения в конкретном месте вашей комнаты. Например, если его устанавливать над входной дверью или кроватью, то «люстру» лучше иметь в виде, показанном на рис. 15.35, *б*. Можно также сделать настольный излучатель, оформленный в виде небольшого кактуса, — все зависит от имеющихся в наличии материалов и фантазии.

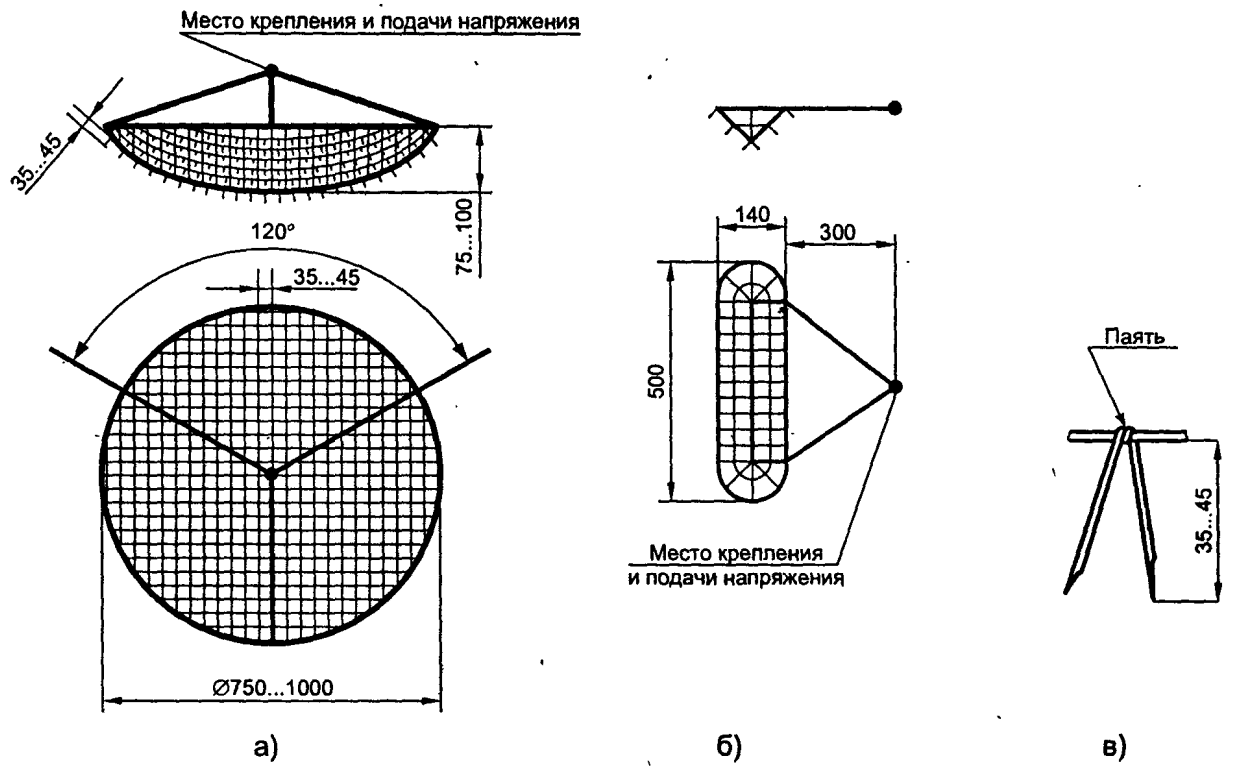


Рис. 15.35. Форма излучателей: *а* — «Люстра Чижевского» для больших помещений; *б* — вариант аэроизлучателя для дома и один из способов закрепления иголок в узлах (*в*)

Для ее изготовления подойдет медный провод: толстый (3...4 мм) в качестве каркаса, а более тонкий (0,25...0,5 мм) — для сетки и иголок. Иголки получаются из кусков провода при помощи острых бокорезов (их длина должна быть не более 5 см). Провод закручивается в узлах сетки и пропаивается. За одну накрутку мы можем сразу получить две иголочки, которые будут достаточно острыми, если провод обрезать бокорезами под острым углом. Острые иголки нужны потому, что в этом случае ток, поступающий с острия, увеличивается, а возможность образования побочного вредного продукта — озона — уменьшается.

Конечно, для изготовления иголок провод можно использовать не только медный. Например, взять стальные иголки от одноразовых шприцев или купить иголки с колечком, которые обычно продаются в магазинах канцелярских принадлежностей под названием «булавка цельнометаллическая одностержневая». Правда, в этом случае возникнут проблемы с пайкой. Без кислоты или активного флюса на ее основе хорошо ничего припаять не удастся.

При работе аэроионизатора не должно появляться никаких запахов. Если они есть, осмотрите внимательно монтаж конструкции и устраните места образования коронных разрядов. ■

Проверка работы

При правильном монтаже настройка схемы не требуется, но при проверке устройства не следует забывать о **технике безопасности**. Ведь приходится иметь дело с высоким напряжением, которое присутствует на излучателе не только во время работы преобразователя. Конденсаторы способны хранить заряд продолжительное время и после того, как схема выключена.

Само по себе высокое напряжение не опасно — опасен для жизни проходящий ток (свыше 30 мА), особенно если он протекает через область сердца (левая рука — правая рука). В нашем аэроионизаторе максимальная сила тока будет значительно меньше этого уровня, но соблюдать меры предосторожности все же нужно. При прикосновении к высоковольтным частям вы получите довольно неприятный укол искрой разрядки конденсаторов умножителя. Поэтому при перепайке деталей или проводов в конструкции не только выключите ее из сети, но и замкните высоковольтный провод умножителя на заземленный (соединенный с общим проводом). Еще желательно убрать подальше электронные приборы и устройства, чтобы их случайно не повредить накопленными статическими зарядами или касанием к высоковольтному электроду.

Теперь о том, как можно убедиться в нормальной работе высоковольтного преобразователя и излучателя аэроионизатора, не имея специальных измерительных приборов, — киловольтметра и измерителя концентрации ионов. Не покупать же дорогие приборы, чтобы ими воспользоваться всего один раз в жизни.

Безвыходных положений не бывает. Достаточно точно можно узнать уровень напряжения на электродах по способности его пробивать воздушный зазор (зрелище само по себе красивое). Известно, что пробой воздуха происходит для переменного напряжения при 1 кВ на 1 мм, а для постоянного — 3 кВ на 1 мм (пробивная напряженность — эта величина немного зависит от температуры, влажности, атмосферного давления). Зная, на каком расстоянии между электродами появляется искра (или видимое свечение коронного разряда), и умножив его на пробивное напряжение, мы получим величину напряжения на электроде.

Убедиться в том, что излучатель нормально работает и происходит образование ионов, можно при помощи небольшого кусочка ваты. Он должен притягиваться к «люстре» с расстояния 5...6 см. А если осторожно поднести к излучателю руку, уже на расстоянии 7 см ощутим холодок, вызванный усиленным движением ионов по направлению силовых линий поля, — электронный ветерок. ■

Особенности эксплуатации

Устанавливают устройство на расстоянии не менее 80 см от потолка, стен, осветительных приборов и 120 см от места нахождения людей в комнате. Не рекомендуется включать ионизатор вблизи радиоаппаратуры или компьютерной техники (при работе ионизатора все металлические предметы, если они не заземлены, способны накапливать заряды), что для некоторых приборов небезопасно.

Перед включением аэроионизатора помещение желательно проветрить. В помещении с плохой вентиляцией аэроионизатор лучше включать периодически в течение всего дня через некоторые интервалы времени, так как про-

должительность существования созданных ионов из-за их постоянного хаотичного движения и соударений друг с другом не очень большая.

Ионизировать надо чистый воздух с нормальным химическим составом. Электрическое поле аэроионизатора очищает воздух от пыли, но эта пыль будет налипать к стенам и предметам, что конечно же плохо. В сильно запыленных помещениях люстру использовать нельзя — предварительно можно воспользоваться пылеуловителем, эту задачу выполняют специальные устройства.

Необходимости в постоянной работе ионизатора нет. Считается, что в обычном помещении достаточно продолжительности ежедневного сеанса 30...50 мин. ■

Цветная музыка

— Вы всегда понимаете то, что говорите?
— Да, если внимательно слушаю.
Оскар Уайльд

Любую музыку могут сопровождать разнообразные световые эффекты, одним из которых является светомузыка (ее еще называют цветомузыкальной установкой, или сокращенно — ЦМУ). Это украсит дискотеку, школьный вечер или просто домашний праздник. Принцип работы такого устройства основан на разделении всего звукового спектра на участки, в которых частоты электрического сигнала смогут управлять соответствующим световым излучателем. При этом, если поставить в каждом канале фильтры разного цвета и направить все световые излучатели в одно место, цветовая картина получается всегда неповторимой, так же как неповторимы все музыкальные произведения. Ведь для синтеза любого цвета из солнечного спектра достаточно всего трех базовых цветов: красного, синего и зеленого.

В простейшем случае схема светомузыки представляет собой пассивный трехканальный фильтр, разделяющий звуковой сигнал на три полосы: НЧ (частота среза 100 Гц), СЧ (полоса 50 Гц...10 кГц) и ВЧ (частота среза 10 кГц). Действие установки основано на постоянной смене вида частотного спектра в музыкальном сигнале. Низкие, «ударные» частоты могут появляться и пропадать. То же самое происходит с другими частотами сигнала, но картина меняется по-разному для разных участков спектра. Следовательно, если разделить спектр сигнала на полосы и подать их на управляющие электроды тиристоров VS1—VS3, они будут переключаться с разной интенсивностью. Фильтр ВЧ — это конденсатор C1, фильтр НЧ — катушка индуктивности L2. Фильтр СЧ представляет собой резонансную цепочку L1, C2, «вырезающую» из сигнала среднечастотную часть. Резисторы R1—R3 предназначены для настройки интенсивности свечения ламп EL1—EL3, управляемых тринисторами VS1—VS3. Чтобы не допустить попадания отрицательных полуволн сетевого напряжения на тринисторы, в конструкции имеется диодный мост VD1—VD4. Трансформатор T1, установленный на входе, осуществляет гальваническую развязку источника сигнала от схемы, элементы которой находятся под сетевым напряжением.

Смонтировать приставку можно методом навесного монтажа или на отрезке макетной платы, поместив ее в подходящий корпус. Резисторы R1—R3 подой-

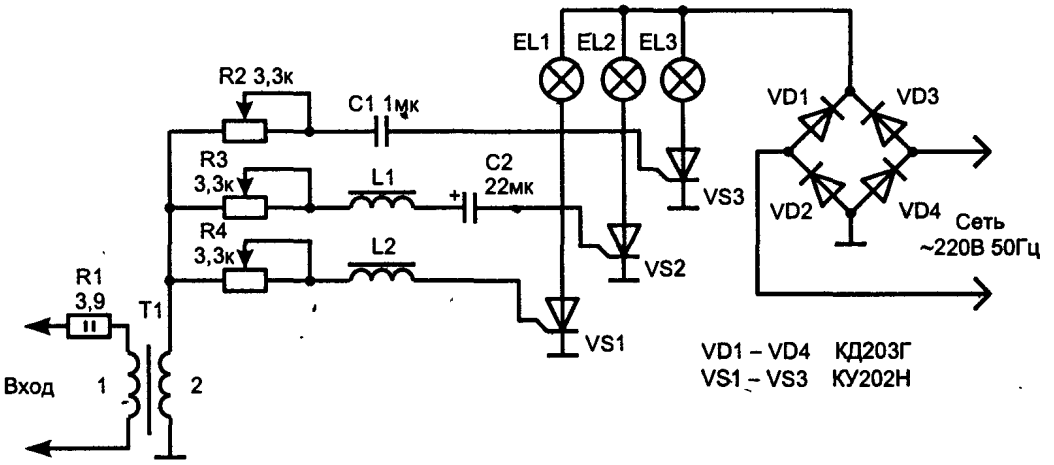


Рис. 15.36. Простая светомузыкальная приставка

дут любые, но лучше использовать движковый вариант. Катушки L1 и L2 наматываются на ферритовых кольцах диаметром 6—10 мм из материала 600НН или 2000НМ. Катушка L1 набирается из трех колец и содержит 200 витков провода ПЭТВ-0,1, а катушка L2 — из двух колец. Она содержит 150 витков того же провода. Конденсаторы — любые неполярные, например К10-17а. Тиристоры необходимо выбрать из серии КУ202 с величиной допустимого обратного напряжения не ниже 400 В, например КУ202Н. Диоды подойдут типа КД203, Д242. Все силовые элементы нужно установить на радиаторы, позаботившись об исключении возможности прикосновения к ним в процессе эксплуатации.

Очень важный элемент конструкции — трансформатор Т1. От его выбора зависит работоспособность ЦМУ. Рекомендуется использовать согласующий трансформатор от абонентского громкоговорителя («радио»), включив его первичную обмотку, имеющую большое количество витков, к левым (по схеме) выводам резисторов R2—R4, а на вторичную обмотку подав сигнал с источника. Таким образом, трансформатор будет работать в режиме повышения напряжения. Резистор R1 ограничивает ток через трансформатор и одновременно защищает источник звукового сигнала от повреждения.

Если найти готовый трансформатор не удастся, возможно изготовить его из подручных средств. Для этого нужно разыскать Ш-образный сердечник из электротехнического железа с площадью сечения не менее 3 кв. см, например, Ш14×20, Ш16×24. Каркас можно склеить из картона или вырезать из стеклотестолита. Вторичная обмотка мотается в первую очередь. Она должна содержать 2000 витков провода ПЭВ, ПЭЛ, ПЭТВ диаметром 0,1 мм. Каждый слой вторичной обмотки нужно отделять прокладкой из двух-трех слоев бумаги, тонкой лакоткани или фторопластовой ленты. Первичная обмотка (она укладыается во вторую очередь) содержит 300 витков провода той же марки диаметром 0,2 мм. Первичная обмотка отделяется от вторичной прокладкой.

Какой источник сигнала можно использовать с этой простой ЦМУ? Далеко не всякий. Поскольку схема представляет собой пассивный вариант, ее подключение к линейному выходу со стандартным значением сигнала 250 мВ ничего не даст и, более того, может оказаться опасным для источника сигнала по причине малого входного сопротивления у трансформатора Т1. Лучше всего подключаться к выходу низкоомных головных телефонов, предназначенному

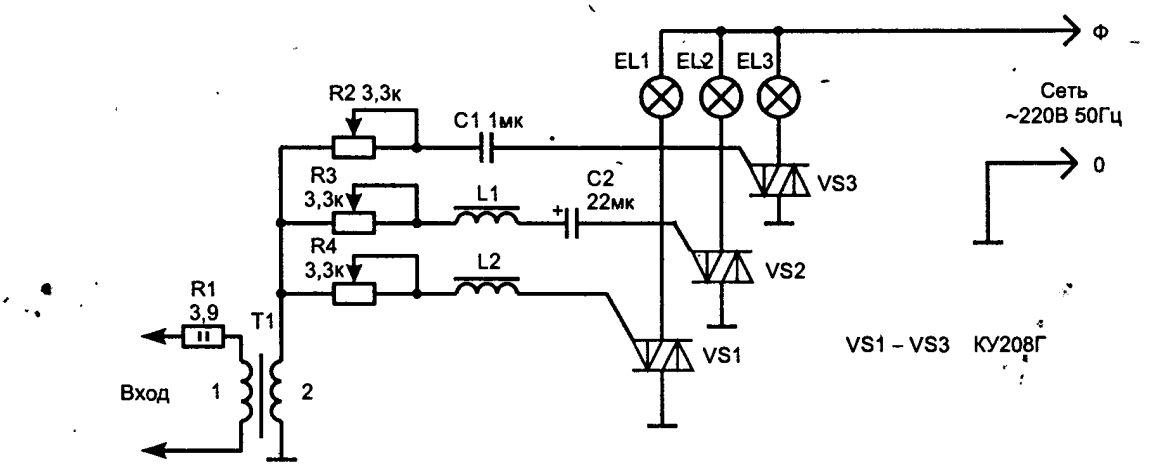


Рис. 15.37. Светомузыкальная приставка на симисторах

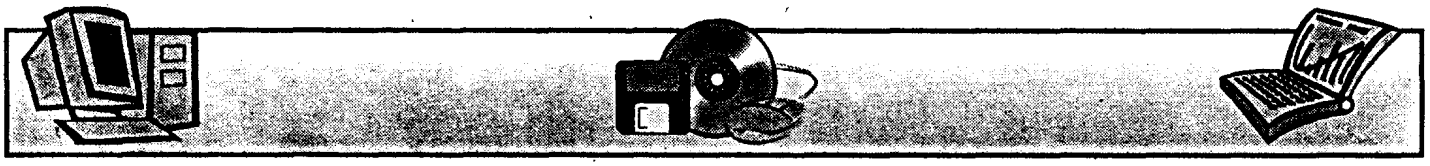
для работы с нагрузкой порядка 8 Ом (если такой выход есть). Если же выхода на головные телефоны нет, можно использовать усилитель мощности, построенный, например, на микросхеме К174УН14 (эта схема в первой книге есть).

Еще один вариант схемы светомузыки показан на рис. 15.37. В ней для управлением лампами применены симисторы. Это позволило отказаться от применения выпрямительного диодного моста и немного упростить схему.

Схемы не нуждаются в настройке. Варьируя громкостью на выходе источника сигнала, а также управляя сопротивлением резисторов R1—R3, возможно добиться наиболее оптимального света, излучаемого прожекторами. ■

Литература

1. Заряжаемые гальванические элементы. — М.: Радио, 1999, № 7.
2. *Поляков В.* Физика аэроионизации. — М.: Радио, 2002, № 3, с. 36.
3. *Чижевский А. Л.* Аэроионификация в народном хозяйстве. — М.: Госпланиздат, 1960 (2-е изд. — Стройиздат, 1989).
4. *Шелестов И. П.* Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 2. — М.: СОЛОН-Р, 2001.



Глава 16

Компьютер в лаборатории радиолюбителя

Последние десять лет мы живем в мире персональных компьютеров. И если раньше вычислительная техника занимала целые комнаты (самый первый отечественный компьютер едва помещался в пятиэтажном здании), потребляла много энергии и стоила очень дорого, то теперь она стала доступной всем желающим. Из разряда громоздкого и не очень удобного в эксплуатации производственного оборудования компьютер превратился в ежедневного персонального помощника и надежного друга. Живя в век информационных технологий, современный человек просто обязан обладать компьютерной грамотностью: не зря в школе ввели курс информатики! Несмотря на то, что сам компьютер — устройство довольно сложное, научиться им пользоваться на уровне «чайника», или, как говорят, «юзера», несложно. Литературы на эту тему более чем достаточно. С такой задачей вы справитесь самостоятельно, да и в школе обязательно чему-то научат. Наша книга не об этом. Мы отлично понимаем, что персональный «железный» друг сегодня есть у многих, а гоняться с его помощью за виртуальными монстрами хотя и интересно, но все равно рано или поздно надоедает. Поэтому здесь вы узнаете, чем компьютер может помочь в практических делах. И не в отдаленном будущем, а сегодня, сейчас... ■

Чему может научить компьютер

Машина должна работать, человек — думать.

Закон IBM

Здесь речь мы будем вести не столько о компьютере, сколько о программном обеспечении для него. Ведь без умных (и не очень) программ сам компьютер так и остался бы кучей электронных компонентов, которая вряд ли кого заинтересовала. Не зря некоторые профессиональные коммерческие пакеты программ стоят намного дороже, чем сам компьютер. Но не пугайтесь: дорогие программы нам пока не понадобятся. Постараемся обойтись бесплатными, свободно распространяемыми — их можно разыскать в Интернете и на лазерных дисках. Ну а немного сориентироваться в этом океане информации и поможет данная глава.

Обращаем внимание читателя на то, что существует три варианта бесплатных программ. Первый вариант, называемый «freeware» (фриваре), — абсолютно бесплатный и неограниченно распространяемый. Разработчики «фриваре» программ не вносят никаких ограничений в их работу, но и не оказывают технической поддержки.

Второй бесплатный вариант, очень часто встречающийся в Интернете и на компакт-дисках, называется «shareware» (шареваре) — условно-бесплатный продукт, также неограниченно распространяемый. Такие программы вполне работоспособны, но программисты специально вносят какое-либо неудобство в пользование их продуктами, например, заставляют каждый раз нажимать пару-тройку лишних, ничего не значащих кнопок или смотреть рекламную заставку. Превратить «шареваре» в нормальную программу можно, заплатив небольшую сумму разработчику. Ну а если лишние нажатия не смущают и не раздражают, можно сэкономить эти деньги без ущерба для себя.

Третий вид программ называется «demo-version» (демо-версия). Они относятся уже к профессиональным продуктам. Фирма-разработчик выпускает бесплатную «демо-версию», чтобы познакомить с ней будущих пользователей (инженеров и студентов). Демо-версии обладают значительными ограничениями: там может быть отключена возможность сохранить результаты своего труда, закрываются некоторые функции, накладываются ограничения на время работы программы («trial-version»). Но все же и такие «урезанные» программы иногда можно использовать в своей практике.

Теперь кратко познакомимся с самыми лучшими и удобными из программ, большинство из которых имеется на прилагаемом к этой книге компакт-диске, или их можно найти по указанным адресам в Интернете. Так как описать все программы невозможно (да и, скорее всего, не нужно), при возникшем желании с большинством из них вы легко разберетесь самостоятельно.

По способу своей работы на компьютере все программы можно условно разделить на четыре группы. К первой относятся довольно старые, написанные для запуска из операционной системы MS-DOS. Они обычно имеют скромный вид на экране и не столь удобны в управлении, так как редко позволяют работать с «мышью». Все переключения режимов приходится выполнять нажатием кнопок на клавиатуре, о вариантах которых программа вас сама проинформирует. При запуске таких программ из Windows компьютер **эмулирует** режим работы MS-DOS, и программа появляется в отдельном окошке. Если у вас было корректно установлено программное обеспечение — этот не вызывает никаких проблем. Но если проблемы все же возникли, то возможен и другой способ их запуска. Например, для Windows-98 можно выйти из «окон», для чего в меню «Завершение работы...» поставить точку перед пунктом «Перезагрузить компьютер в режиме MS-DOS» и нажать «OK». Далее мы при помощи оболочки типа Нортоновской (или же используя командную строку) находим в каталоге папку с нужной программой и выбираем запускающий файл с расширением **.EXE** или **.BAT**.

Вторая группа — это более новые программы, которые уже специально были написаны для запуска из Windows. Часто они требуют инсталляции, т. е. процесса включения их в перечень доступных для вызова к работе. Инсталля-

ция начинается автоматически при вашем одобрении (аналогично, как и при установке новых игр).

Третья группа — это небольшие приложения, тоже написанные под Windows, но для своей работы не требующие инсталляции, что наиболее удобно.

Четвертая группа — программы-плагины (plug-in), не имеющие самостоятельной ценности и устанавливающиеся в дополнение к основным программам для расширения их возможностей.

Итак, все необходимые вводные слова сказаны. Теперь поговорим о самих программах. Сначала мы с вами познакомимся с так называемыми **вспомогательными и справочными программами**, поскольку в дальнейшем они не раз могут пригодиться. ■

Вспомогательные программы

Мы столько можем, сколько знаем. Знание — сила.

Фрэнсис Бэкон

До принятия на конференции в 1960 г. учеными Международной системы единиц измерения SI (СИ) существовали и другие системы. Некоторые из них до сих пор продолжают широко использоваться или же встречаются в литературе. И порой нужно перелистать немало справочников, чтобы перевести, например, дюймы или футы в миллиметры. Программы справочного характера, облегчающие эту задачу, распространены широко, но здесь мы упомянем только три из них, которые позволяют легко перевести значения из одних единиц в другие. Они работают из Windows и не требуют инсталляции:

Helper

Helper (автор не указан) — программа-помощник для инженеров, студентов, школьников и всех тех, кому в силу своей деятельности приходится заниматься расчетами на компьютере. Содержит справочные данные по физическим константам, сами константы и кратные коэффициенты, которые можно через буфер обмена скопировать в документ.

Операционная система: Win 95, 98, 2000, NT (размер файла программы helper.exe 455 Кб).

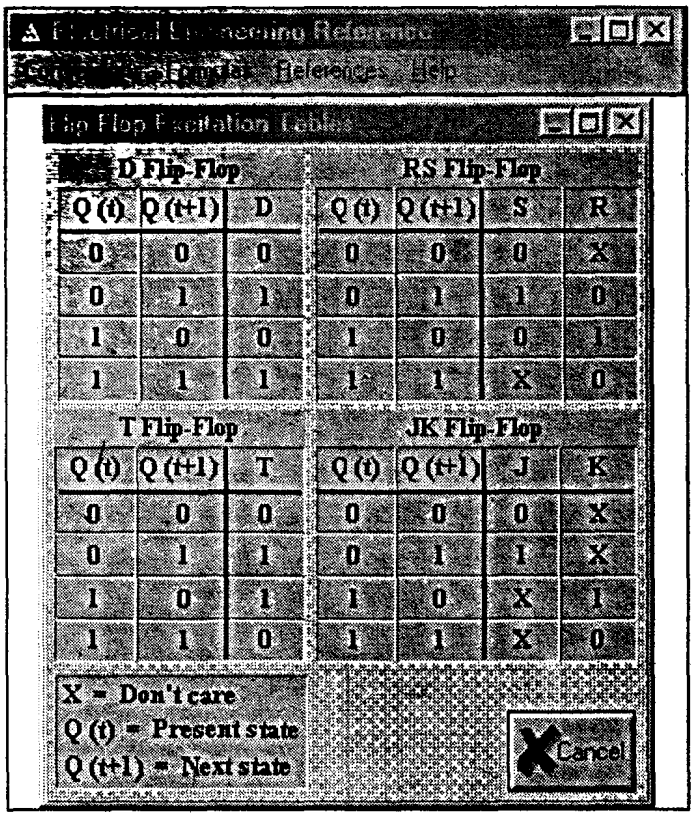
Temperature ScaleConverter

Temperature Scale Converter (автор Бесчетно Михаил Константинович).

Удобная программа, позволяющая быстро конвертировать температуру из одних единиц измерения в другие. Знает единицы: Цельсия, Кельвина, Фаренгейта и Райкина.

Операционная система: Win 95, 98, 2000, Me (размер файла программы TemperatureScaleConverter.exe 39 Кб).

Следует отметить, что, кроме тех, что приведены на компакт-диске, в Интернет существует довольно много свободно распространяемых программ для перевода единиц измерения из одной системы в другую. Если вас заинтересуют такие продукты, в конце раздела указано, где их можно найти.



Electrical Engineering Reference v1.5 (автор Киртом Блаттенбергер).

Перед вами электронный аналог книги-справочника для инженера, где приведены константы, соотношения единиц для перевода (Conversions), необходимые расчетные формулы и законы (Formulas), таблицы истинности для всех типов триггеров и другие разные справочные данные (References). Работает из Windows и инсталляции не требует (запускающий файл eeref.exe занимает 1,17 Мб).

Другой класс вспомогательных программ позволяет расширить возможности компьютера, превратив его в архив технической документации. Программы этого класса дают возможность работать с текстовыми документами и справочной информацией в особых форматах. Конечно, в пакете Microsoft Office имеется достаточно средств для работы с текстами, таблицами, графиками, формулами, но для работы с документацией, представляемой фирмами-производителями техники в электронном виде, этого набора недостаточно.

Первая программа, без которой невозможно обойтись современному специалисту, — это **Adobe Acrobat Reader** фирмы Adobe Systems Inc. В Интернете и на лазерных компакт-дисках вы найдете много документации и справочной информации, представленной в виде файлов, имеющих расширение **.pdf** (такие буквы имеются в конце файла). Данная программа как раз и обеспечивает работу с форматом **PDF**. Вариант этой программы, который позволяет только просматривать и распечатывать документы, является бесплатным, и его надо обязательно установить на компьютер (есть на приложенном компакт-диске). С PDF-файлами работать очень удобно — они содержат страницы документов, которые можно без предварительного форматирования распечатать, не опасаясь за нарушения вида. Можно скопировать текст и картинки, вставить их в другие документы. Можно передать файл по электронной почте — он предстанет перед вашим коллегой в точности таким, каким вы его видели.

На сегодня существует уже пять версий **Adobe Acrobat Reader**. Наиболее распространены 4-я и 5-я, реже встречается 3-я. Рекомендуем пользоваться последней — самой свежей. Тогда вы будете иметь возможность читать без искажений не только старые PDF-файлы, но и новые.

DjVuWebBrowset...

В настоящее время все большее распространение среди радиолюбителей приобретает новый графический **формат DjVu** (произносится «Дежавю»), разработанный фирмой AT&T. Он удобен тем, что позволяет отсканированные изображения (схемы, рисунки, текст) сжимать и хранить в очень компактном виде. Этот формат также обеспечивает передачу больших объемов информации по каналам Интернета (для чего программа, собственно, и была разработана). Так, цифровой размер файла при преобразовании его в формат DjVu, в зависимости от содержания, без потери качества уменьшается в 10—50 раз.

Широкому распространению в ближайшем будущем этого формата способствует и бесплатный (пока) доступ к программным средствам не только для просмотра, но и создания таких документов. Причем для просмотра файлов в формате DjVu достаточно установить небольшое (900 Кб) дополнение к браузеру Internet Explorer (plug-in — она есть на приложенном компакт-диске).

Файлы с форматом .djvu часто можно встретить на радиолюбительских страницах Интернета, так что рекомендуем вооружиться указанным plug-in-ом! Есть и другой вариант для просмотра таких документов. Например, хорошо известная многим популярная программа для просмотра разных форматов графических файлов ACDSee версии 4.01 и старше позволяет читать файлы и с форматом **.djvu**, но родная программа все же удобнее. ■

Справочные программы

Найдем, подставим и будем иметь...
На лекции

Маркировка компонентов

Мы уже сталкивались в своей практической деятельности с цветовой маркировкой электронных компонентов, ощутили ее неудобство. Нужно помнить, какой цвет к какой цифре относится, как строится система множителей. Гораздо быстрее будет в этом случае воспользоваться компьютерной программой, которая «помнит» всю необходимую в таких случаях информацию. Из всего перечня программ, имеющегося на компакт-диске, можно выделить следующие:

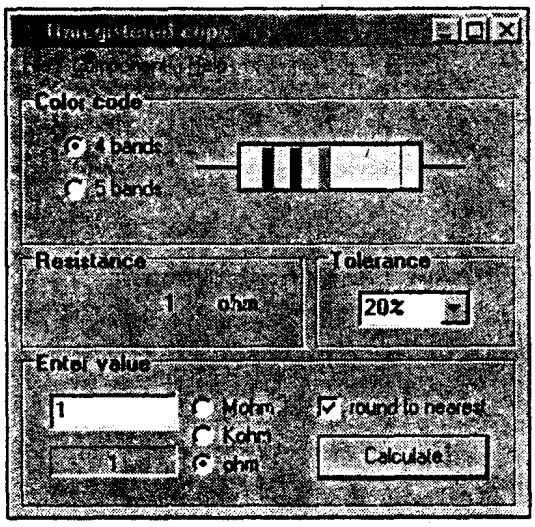
Rescalc

Resistor Calculator — программа позволяет по 4-ех или 5-ти полосной цветовой маркировке определить номинал резистора, или же наоборот, по номиналу — цвета колец. Это удобно, так как обратную возможность (по номиналу узнать цвет кольца) предоставляют довольно мало программ.

Работает из Windows и не требует инсталляции (rescalc.exe 210 Кб).

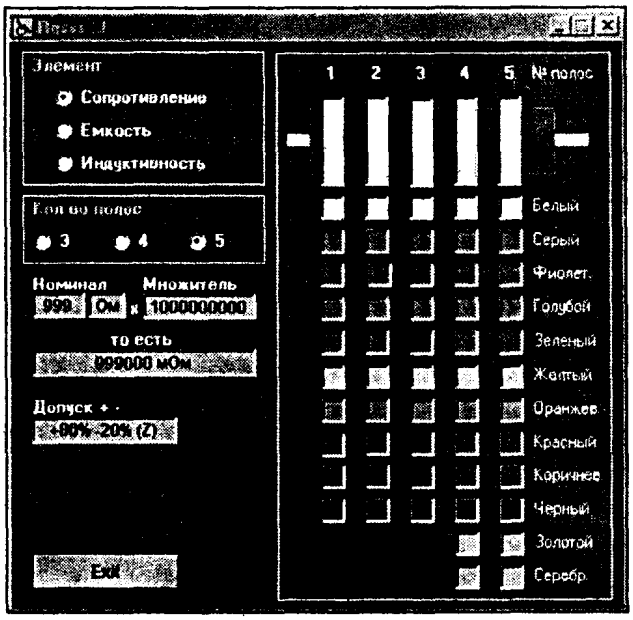
Resistor u Capacitor Colorcode decoder V2.11 — позволяет не только определить по цветовым полосам номинал резисторов и конденсаторов, как это делает большинство программ, но и наоборот — для нужного номинала узнать цветовую маркировку.

Работает из Windows и не требует инсталляции (colcoder.exe 253 Кб).



Resss! — программа позволяет по 3-, 4- или 5-полосной цветовой маркировке определить номинал и допуск резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности. Эта программа обладает большими возможностями, чем предыдущие, но по номиналу показывать цвет маркировки не умеет.

Работает из Windows и не требует инсталляции (resss.exe 81 Кб). Интерфейс — русский (специально для тех, кто не знает иностранного языка). ■

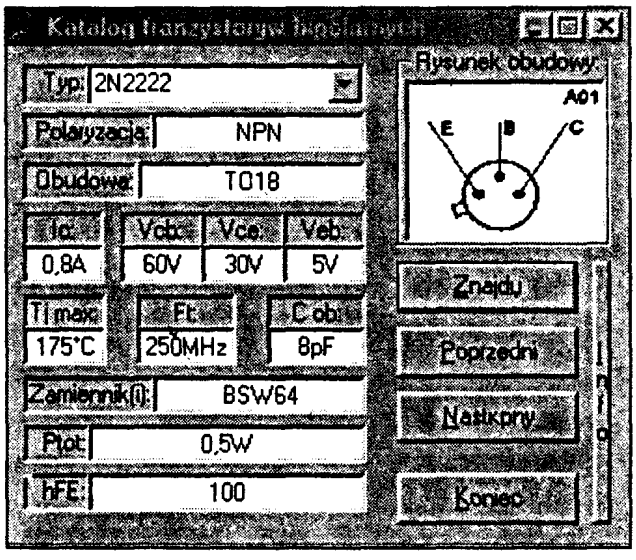


Технические характеристики

Листать справочники по электронным компонентам — занятие достаточно кропотливое и утомительное. Куда как проще «нагрузить» эту задачу на компьютер. Пусть ищет техника, а человеку найдется больше времени для изучения найденного.

Katalog Tranzystoryw Bipolarnych ver. 1.31 (автор Tomasz Orczyk).

Программа содержит базу данных по наиболее распространенным зарубежным биполярным транзисторам. Приведены основные технические характеристики и расположение выводов. В комплекте имеется редактор, позволяющий создавать (дополнять) своей базой данных с транзисторами.



Работает из Windows и не требует инсталляции (все файлы занимают 1,2 Мб). Интерфейс — польский, но тут все понятно и без словаря!

TDSL Personal Edition ver. 1.0.1.18 (автор Дункан Манро).

Программа содержит большую базу данных по распространенным радиолампам.

Работает из Windows (tdslpe.zip 590 Кб).

Компьютер превращается...

Видеть легко, трудно предвидеть.

Бенджамин Франклин

...в осциллограф

Один из самых необходимых приборов для домашней радиолаборатории — осциллограф. Осциллограф — это двухмерный вольтметр, который показывает, как изменяется напряжение во времени. На практике часто используются аналоговые модели (они наиболее распространены из-за относительно низкой цены — самый простой из них можно купить за $80...100) и современные цифровые осциллографы (стоят от $3000 — как автомобиль). Цифровые осциллографы имеют более широкие возможности (запоминание коротких процессов, измерение характеристик, изучение спектров и др.).

С устройством аналогового осциллографа вы уже знакомы по первой книге. В нем входной сигнал усиливается до нужного уровня и подается на отклоняющие пластины осциллографической трубки.

Цифровые осциллографы содержат на входе аналого-цифровой преобразователь, а также миниатюрный компьютер для обработки сигнала и его представления на экране. Если в любой современный компьютер установить хороший аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и соответствующее программное обеспечение, то он легко превращается в осциллограф. Собственно, этим и занимаются некоторые фирмы, разрабатывая модули АЦП, подключаемые к любому универсальному компьютеру. В этом случае вы получите цифровой осциллограф и ряд других приборов на основе своего компьютера. Правда, цена таких модулей пока довольно высока (от $100 до $1000) и за эти деньги вполне можно приобрести простейший аналоговый осциллограф, но обычно программное обеспечение, идущее в комплекте, позволяет использовать приставку и как анализатор спектра.

В современном бытовом компьютере обязательно есть звуковая карта, а значит есть и АЦП, правда, не такой быстродействующий и совершенный, как в специализированном модуле. Но все же звуковая карта позволяет при помощи программы превратить компьютер в простейший осциллограф. Ниже будет приведен перечень этих программ и их особенности, но следует знать некоторые общие ограничения возможностей такого прибора (ведь звуковая карта изначально для этих целей не предназначалась):

1. На входе звуковой карты имеется конденсатор, что не позволяет наблюдать постоянный уровень сигналов. Это эквивалентно наличию у классическо-

го осциллографа только так называемого **«закрытого»** входа (закрытого для прохождения постоянного тока). А так как на входе усилителя звуковой карты стоят низковольтные развязывающие конденсаторы, подавать переменный сигнал, имеющий уровень постоянной составляющей более 5 В, нельзя. Эту проблему поможет решить простой адаптер, показанный на рис. 16.1.

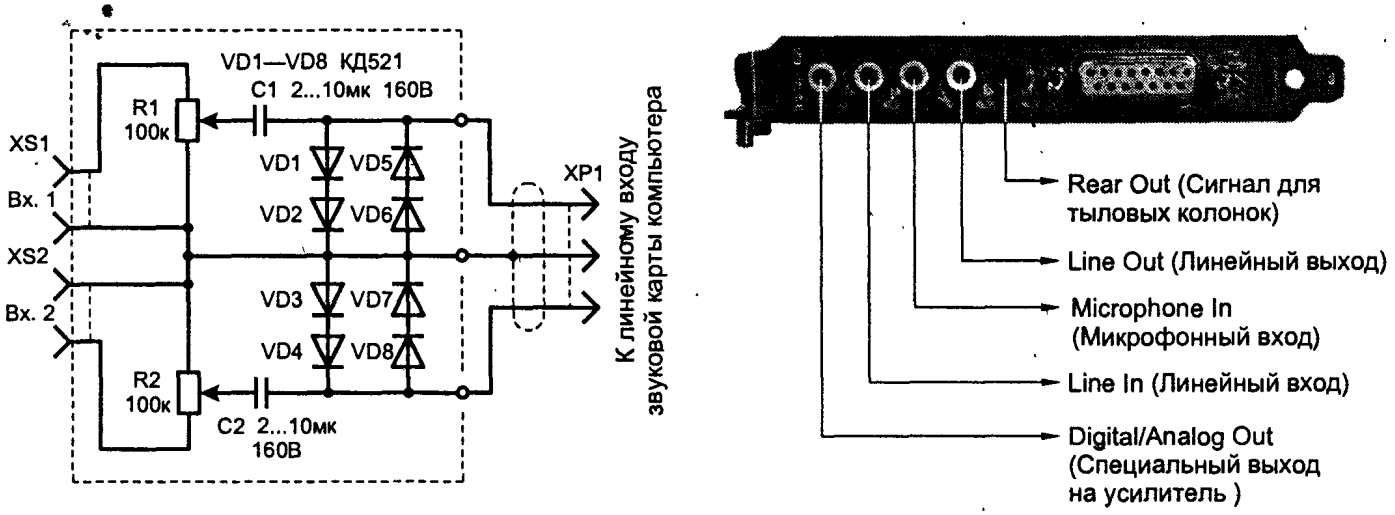


Рис. 16.1. Адаптер для защиты входов звуковой карты компьютера (*а*) и назначение гнезд разъемов (*б*) в карте SB для Creative Live 5.1

Схема позволит подавать на вход звуковой карты сигналы с уровнем постоянной составляющей до 150 В (зависит от рабочего напряжения у примененных конденсаторов). При этом диоды VD1—VD8 (могут использоваться любые кремниевые импульсные) ограничивают амплитуду входного переменного сигнала на уровне 1,2...1,4 В — они не оказывают никакого влияния на нормальный входной сигнал, который не превышает 250 мВ.

2. У большинства звуковых карт ограничен линейный участок усилителя диапазоном напряжений до 100...250 мВ. Это значит, что если сигнал на входе (Line in) имеет уровень больше указанного, то, чтобы его наблюдать без ограничения, необходимо применять внешний делитель напряжения. Превышение амплитуды входного сигнала более 5 В может повредить вход, так что следует проявлять осторожность (приведенный на рис. 16.1 адаптер эту проблему устраняет, позволяя регулировочными резисторами уменьшить сигнал до приемлемого уровня).

3. Входное сопротивление звуковой карты обычно не превышает 14...50 кОм — для профессиональных осциллографов в диапазоне низких частот оно должно быть не менее 1 МОм. Повысить входное сопротивление и одновременно увеличить чувствительность осциллографа на основе звуковой карты несложно: достаточно установить каскад усилителя на полевом транзисторе. На рис. 16.2 показан один канал такого усилителя. Второй транзистор в схеме включен как эмиттерный повторитель, что улучшает согласование. Усиление у такой схемы небольшое (3...5), но зато полоса намного превышает возможности любой карты (до 100 кГц).

4. Полоса наблюдаемых сигналов ограничена полосой звуковой карты, а это примерно 10...24000 Гц (любой простейший аналоговый осциллограф имеет полосу не хуже 0...10 МГц). На краях диапазона имеются «завалы», поэтому реальная полоса звуковой карты при неравномерности 1 дБ обычно составляет

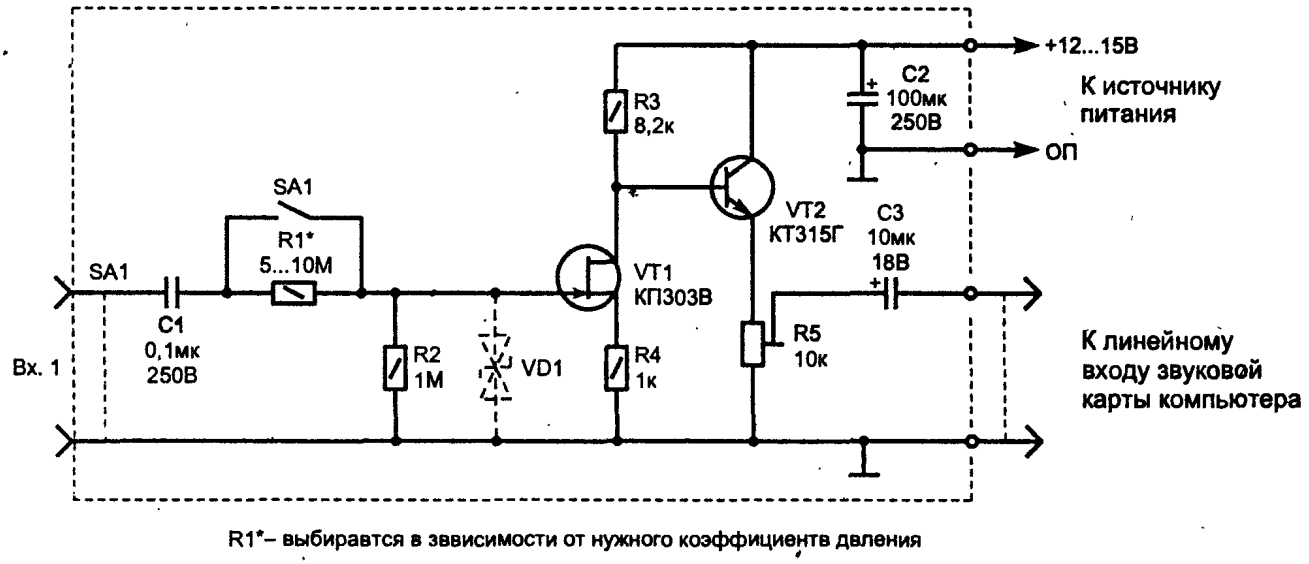


Рис. 16.2. Широкополосный малошумящий входной усилитель сигнала

100...19000 Гц (на уровне −3 дБ полоса 15...20500 Гц). Отличие каналов не превышает 0,3 дБ.

5. Для использования карты в качестве измерительного осциллографа ее необходимо откалибровать для каждой конкретной программы. Только в этом случае по показаниям на экране можно будет судить о реальной амплитуде сигнала, т. е. проводить измерения.

6. Еще одна особенность, которую необходимо учитывать, — это отсутствие гальванической развязки между компьютером и цепями измерения. Для боль-

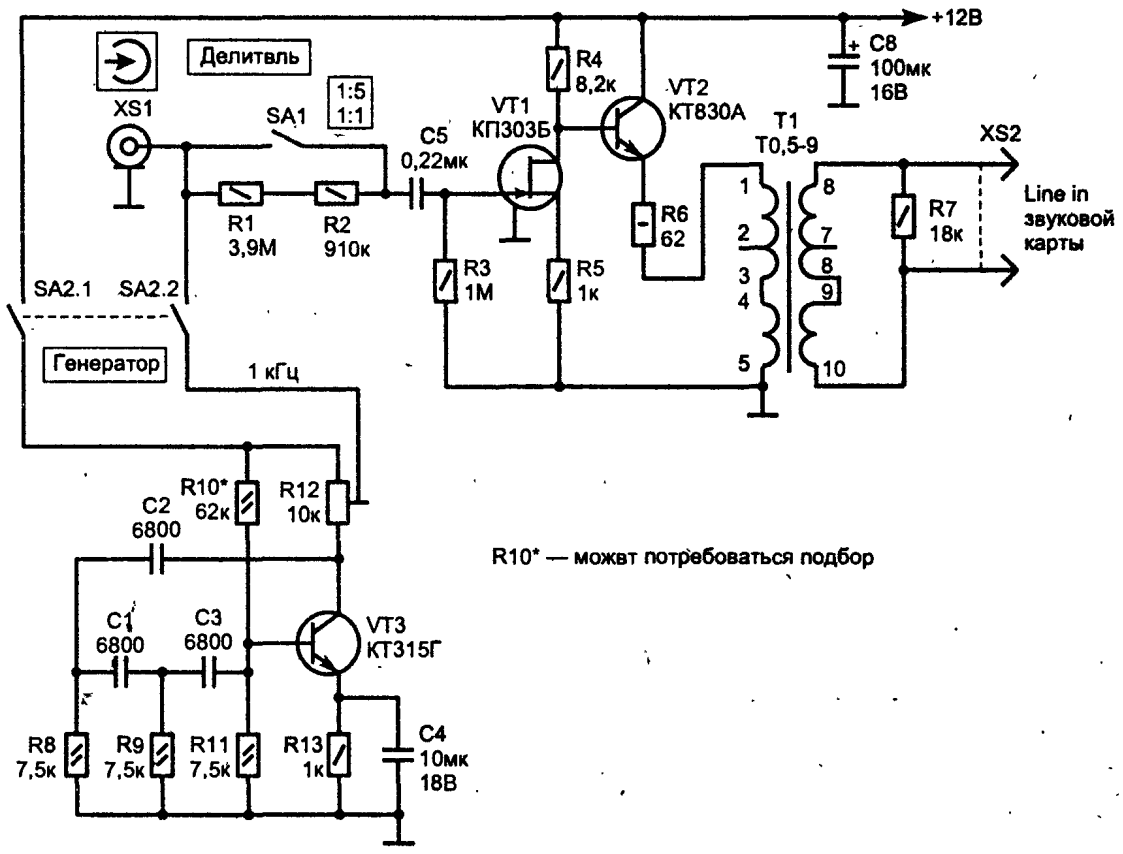
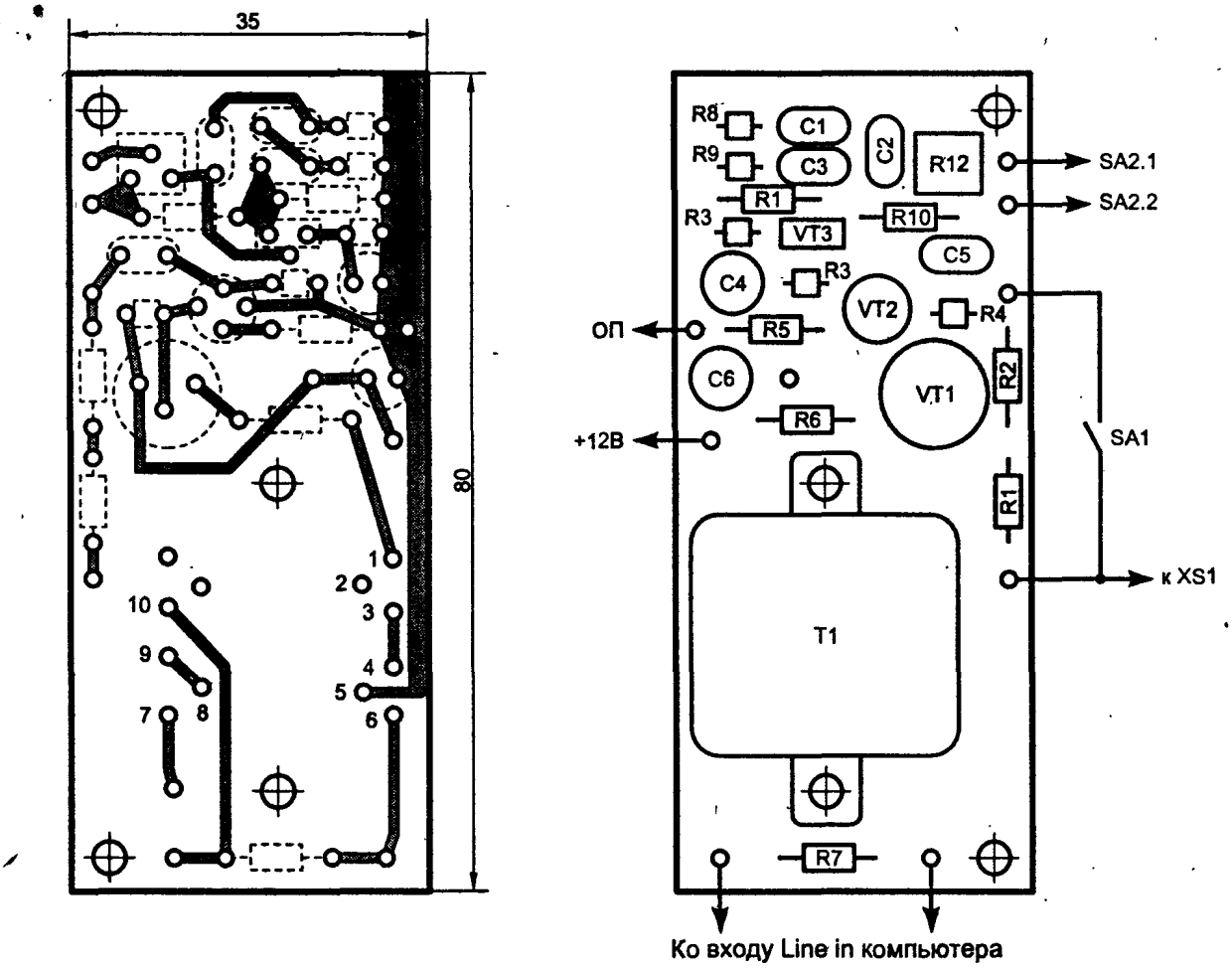


Рис. 16.3. Вариант схемы приставки к звуковой карте компьютера с гальванической развязкой входного сигнала на трансформаторе

шинства измерений это нестрашно, к тому же во многих опасных ситуациях спасет адаптер с защитными диодами и высоковольтным конденсатором, (рис. 16.1), но в некоторых случаях возможно появление высокого напряжения на общем проводе входов. Чтобы не столкнуться с неприятностями (повреждением входа Line in звуковой карты) при любых, даже неграмотно выполняемых



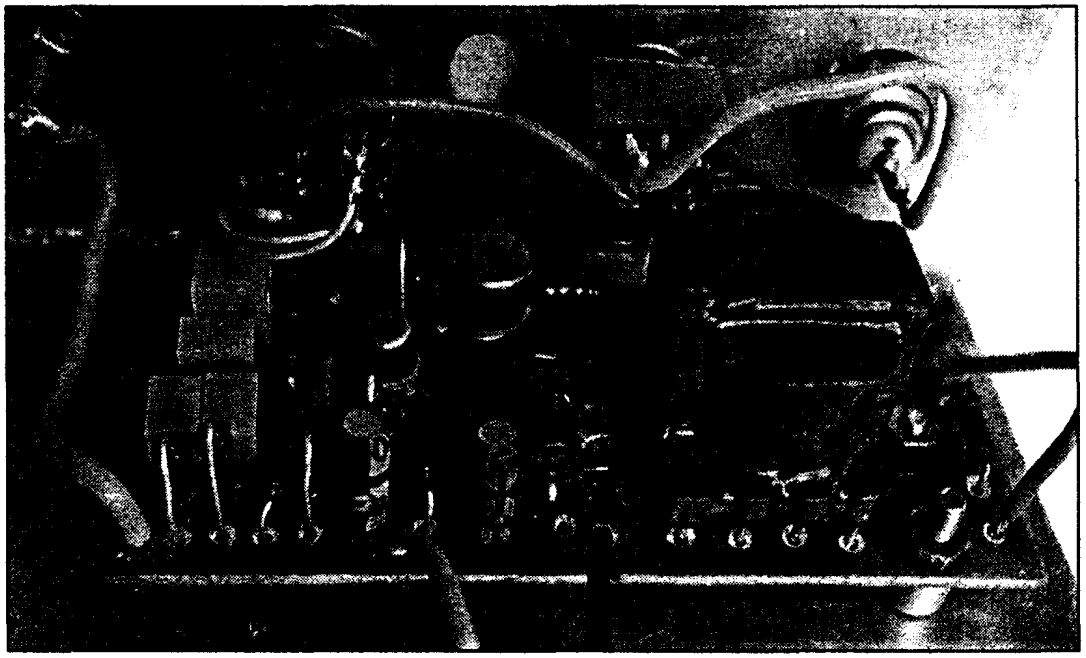


Рис. 16.4. Топология печатной платы для размещения элементов (одного канала) и внешний вид моитажа

подключениях можно установить гальваническую развязку сигналов обоих входов и выходов карты.

Чаще всего используют два способа выполнения развязки: на трансформаторе или на оптронах. Проще всего это сделать на трансформаторе (они более доступны и дешевы). Вариант такой схемы с развязывающим переходным трансформатором приведен на рис. 16.3 (показан один канал). Так как у нас два канала, а самостоятельно изготовить два трансформатора с идентичными параметрами довольно сложно, был использован унифицированный трансформатор из серии Т (он предназначен для звуковых частот).

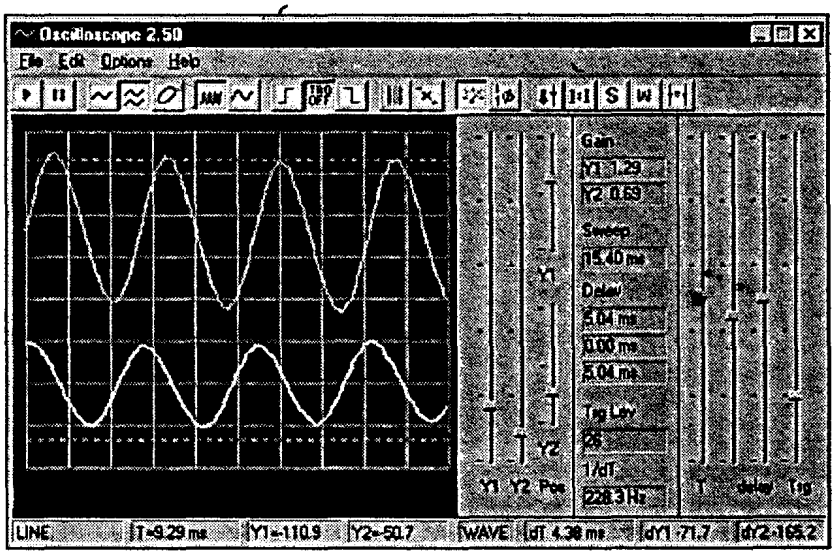
Для удобства использования в составе приставки имеется калибровочный генератор синуса с частотой 1 кГц (включается тумблером SA1). Для того чтобы наводка по цепям питания от генератора не проникала на вход компьютера, когда генератор не нужен, включатель SA1 обязательно должен иметь две группы контактов, одна из которых используется для коммутации питания. Уровень сигнала на выходе этого генератора устанавливается подстроечным резистором таким, чтобы ограничения сигнала в самой звуковой карте еще не было.

Приведенный усилитель имеет полосу по уровню −3 дБ от 100 Гц до 50 кГц (небольшой завал усиления в области низких частот связан с ограниченными возможностями трансформатора, но во многих приведенных ниже программах это удастся компенсировать). Для монтажа всех основных элементов этой приставки можно воспользоваться печатной платой, показанной на рис. 16.4.

Теперь о самих программах поддержки. На компакт-диске их приведено довольно много, но по совместимости с современным компьютерным «железом» (в котором, как правило, установлен Windows) и удобству использования следует выделить:

Winscope

Oscilloscope 2.51 — программа позволяет превратить любую звуковую карту компьютера в двухканальный осциллограф с полосой до 20 кГц. Программа использует звуковую плату как аналого-цифровой преобразователь и представляет сигнал в реальном времени на экране монитора. Управлять работой такого виртуального осциллографа можно с экрана, как и обычным автономным прибором. Например, можно изменять усиление и время развертки. Имеется возможность сохранять результаты измерений в виде файла или через буфер обмена. Программа работает из-под Windows (4 файла с запускающим winscope.exe занимают 167 Кб). Автор К. Зельдович. ■



...в низкочастотный генератор

Для настройки схем или при анализе их работы нередко бывает нужен генератор сигналов. В этом качестве может использоваться даже самый простой компьютер. У компьютерного генератора на выходе звуковой карты Line out можно получить сигнал с уровнем, не превышающим 1,3 В (эффективное значение в программах обозначается как RMS). Коэффициент нелинейных искажений (THD) для синуса у большинства карт на частоте 1000 Гц не превышает 0,03% (имеющийся у некоторых карт мощный выход на динамики для качественных измерений лучше не использовать — там искажений намного больше). Многие программы позволяют формировать, кроме синуса, еще целый набор сигналов различной формы.

Применяя компьютер, не следует забывать, что возможна опасная ситуация для карты, которая может привести к ее повреждению — закорачивание любого из двух линейных выходов (Line out) на общий провод. Тут требуется проявлять аккуратность, но лучше все же использовать адаптер. Например, простейший адаптер можно выполнить по одной из схем, показанных на рис. 16.5.

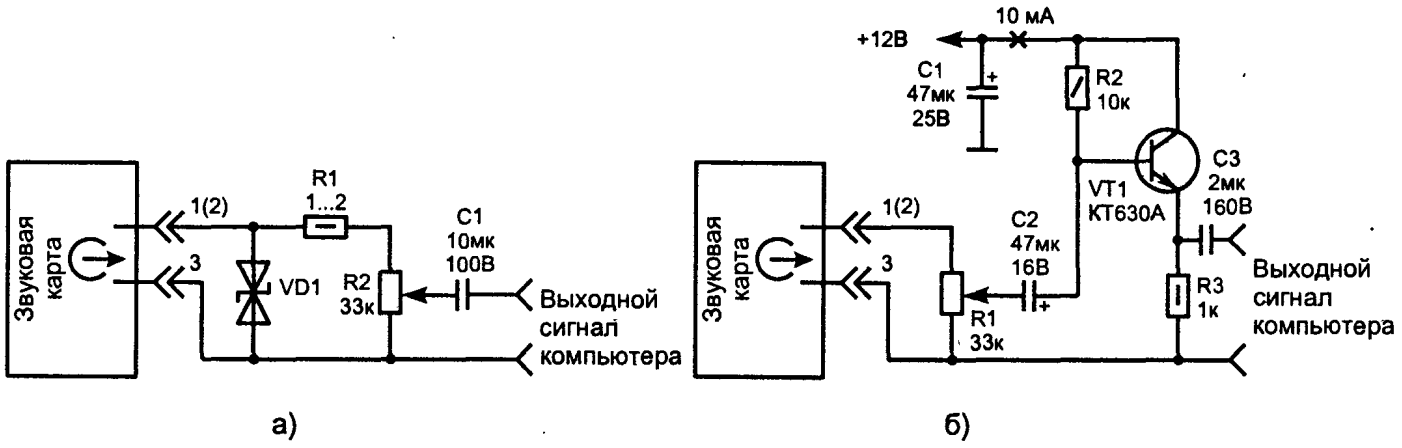


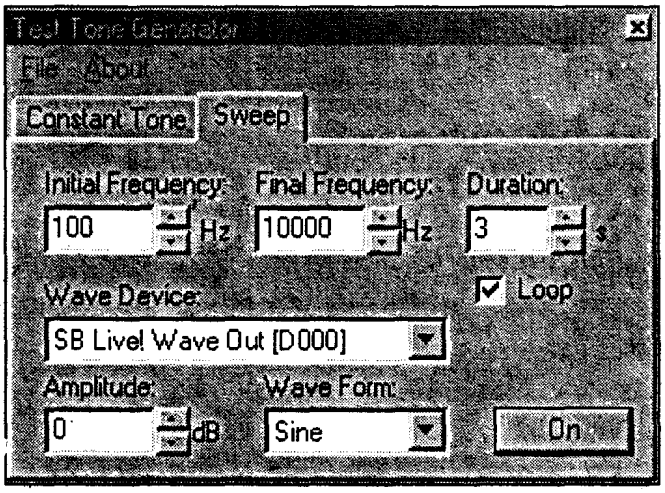
Рис. 16.5. Адаптер для выходного сигнала: *а* — простейший на пассивных элементах; *б* — усилитель мощности на транзисторе (эмиттерный повторитель)

Пассивный адаптер дает только защиту, а активный, кроме защиты, повысит и нагрузочную способность выхода, обеспечивая усиление по току.

Из всего многообразия программ-генераторов здесь мы упомянем только три.

ttg

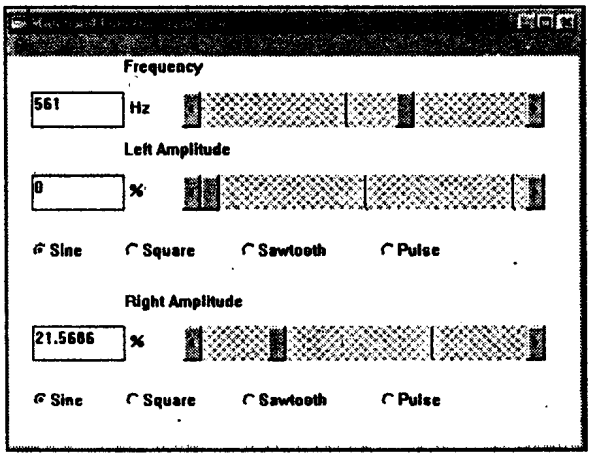
Test Tone Geherator — пожалуй, это самый простой генератор сигналов в диапазоне 10...22050 Гц. Правда, такой диапазон обеспечит не каждая звуковая карта, и поэтому реально может получиться немного меньше. Форма выходного сигнала (Wawe Form) выбирается из трех вариантов: синус (Sine), меандр (Square) и треугольник (Triangular). Ге-



нератор может работать в режиме изменения частоты (Sweep) и позволяет задавать начальную и конечную частоты, а также продолжительность изменения (Duration) и выбирать цикличность процесса (Loop). Работает из Windows, и инсталляция не требуется (файлы программы занимают 318 Кб).

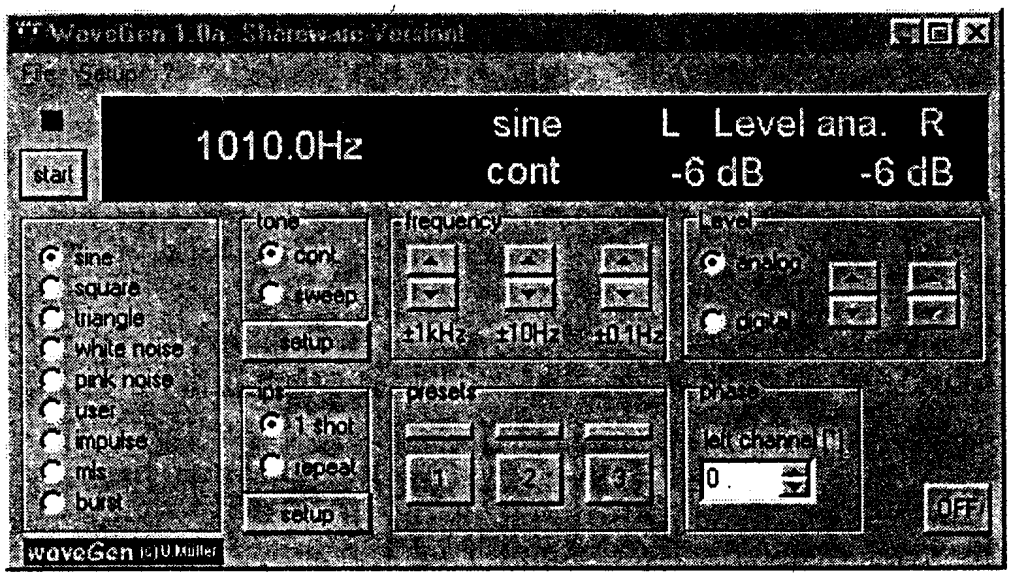
Marhand Function Generator — простой двухканальный генератор. Диапазон частот от 1 Гц до 20 кГц, а формируемый сигнал может быть синусоидальным (Sine), прямоугольным (Square), пилообразным (Sawtooth) и импульсным (Pulse).

Работает под Windows и не требует инсталляции (файл программы fg.exe занимает 69 Кб).



WaveGen 1.0a — многофункциональный генератор, способный создавать формы сигнала: синус (sine); прямоугольник (square); треугольник (triangle); белый шум (white noise); розовый шум (pink noise); задаваемую пользователем (user); импульсный (impulse) и др. Диапазон частот от 10 Гц до 22050 кГц,

Работает из Windows (инсталляционный файл программы waveGenShare.exe занимает 1206 Кб).



В отношении компьютерных генераторов следует знать, что, кроме независимых (о которых шла речь), довольно совершенные генераторы имеются в составе многофункциональных измерительных программ — анализаторов аналоговых сигналов, о которых будет идти речь в следующей главе, а также звуковых редакторов, например Cool Edit 96 (эта программа есть на компакт-диске).

Следует отметить, что в качестве звукового генератора можно использовать любую программу, способную воспроизводить звуковые файлы (в том числе

имеющуюся в составе Windows), если создать (записать) файлы с нужными частотами в любом из цифровых форматов. Можно также записать нужные сигналы на компакт-диск в качестве звуковых дорожек (до 99), то есть сделать тестовый CD-диск. Это позволит его воспроизводить на любом CD-проигрывателе и использовать в качестве звукового генератора тестовых частот. Но все же специальные программы удобнее. ■

Анализаторы сигналов

Лучшее — враг хорошего.
Вольтер

Анализаторы можно разделить по виду (форме) входного сигнала, который нам надо анализировать, — на аналоговые и цифровые. Аналоговые сигналы исследуют при помощи осциллографа и спектроанализатора. Анализатор спектра позволяет наблюдать зависимость амплитуды сигнала от частоты, то есть с его помощью можно снять амплитудно-частотную характеристику НЧ усилителя или фильтра, измерить ряд дополнительных параметров: уровень шума, коэффициент гармонических и интермодуляционных искажений. Естественно, результаты этих измерений напрямую зависят от параметров вашей звуковой карты. Поэтому последняя должна обладать низким уровнем шума и минимальным коэффициентом гармоник. Хорошо, что большинство современных звуковых карт этим требованиям удовлетворяют.

Для реализации всех возможностей указанных ниже программ потребуется звуковая карта, обеспечивающая дуплексную работу, т. е. когда один канал работает как генератор сигналов, а второй — как входной усилитель. Входной сигнал подается на линейный вход одного из каналов звуковой карты (Line in), а выходной снимается с линейного выхода (Line out). Современные звуковые карты с шиной PCI этот режим работы обеспечивают, например звуковая карта типа Sound Blaster 16/32/64 (AWE), Creative Audio PCI 128.

Помимо возможностей наблюдения сигналов в реальном времени, приведенные ниже программы позволяют получить копию исследуемого сигнала в виде файла, скопировать изображение сигнала в буфер обмена либо вывести его на печать.

Сразу следует отметить, что для проведения качественных испытаний внешних устройств не годятся звуковые карты со встроенным оконечным усилителем для подключения пассивных колонок — у них повышенный уровень нелинейных искажений в выходном сигнале (такой выход лучше отключить), а сигнал снимать с линейного выхода.

setupspc

Softest

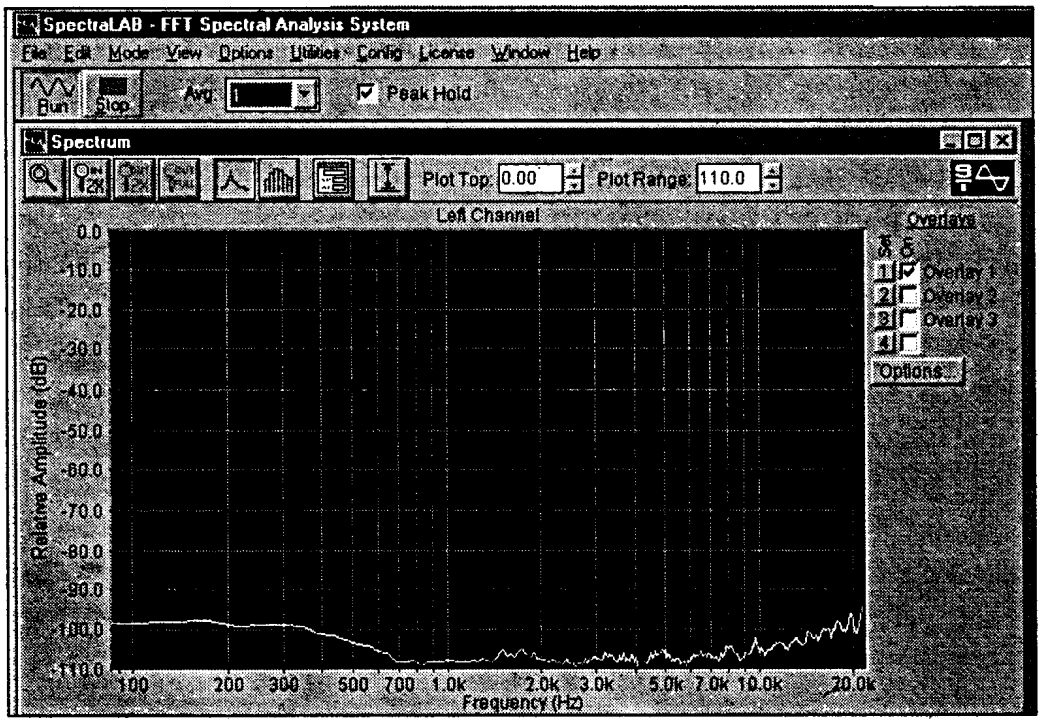
SpectraLab (разработана фирмой Sound Technology Inc.) — программа является наиболее мощным анализатором сигналов в звуковом диапазоне. Кроме обыкновенной осциллограммы сигнала (Time Series), позволяет делать мгновенный снимок спектра (Spectrum), а также показывать спектр объемным (Spectrogram, 3D Surfase), строит график фазовой характеристики (Phase). Имеется встроен-

ный генератор разнообразных сигналов. Позволяет практически измерить все качественные характеристики низкочастотных устройств, включая параметры самой звуковой карты компьютера. Может использоваться для проведения комплекса испытаний УНЧ, а с помощью микрофона измерить акустические параметры в вашей комнате.

Минимальный уровень сигнала, наблюдаемый на экране осциллографа, составляет 300 мкВ (напряжение собственных шумов звуковой карты в полосе частот 1,5...24000 Гц не превышает 10...30 мкВ). Особенности программы описаны в журнале [1] и [2], а как выполнить калибровку имеющегося в составе виртуального осциллографа и ввести ее в файл программы, подробно описано в книге [3]. Там же подробно рассказывается, как пользоваться этой программой.

Программа имеет замечательную возможность создания фильтра — файла компенсации для полосы пропускания **(*.mic)** и его использования в дальнейшем для того, чтобы иметь отображаемую на экране линейную полосу пропускания до предельных возможностей самой карты.

Минимальные системные требования: Pentium 90 с ОЗУ 16 Мб. Работает под управлением Windows 95, 98.



audiotester1_4g

Aud14g

Audio Tester — программа для тестирования звуковой карты или внешних низкочастотных устройств (содержит в себе двухканальный осциллограф, анализатор спектра и генератор сигналов). Уступает по своим возможностям предыдущей программе (ее упрощенный вариант).

При использовании программы регуляторы уровня записи микшера Windows лучше отключить и выполнить калибровку виртуального осциллографа по входному напряжению, так как из-за различий в параметрах звуковых карт амплитуда входного сигнала является относительной величиной. Калибровка позволяет настроить осциллограф под вашу карту и определить максимальное

входное напряжение, которое можно наблюдать без искажений (в канале звуковой карты).

Программный двухлучевой осциллограф позволяет наблюдать сигналы частотного диапазона 10...22000 Гц. Коэффициент отклонения по вертикали: 0,1...2000 мВ/дел, по горизонтали — 0,05...10 мс/дел. Работать можно не только с внутренней, но и с внешней синхронизацией (анализ фигур Лиссажу).

Имеющийся в составе генератор работает в диапазоне частот 0,1...48000 Гц и обеспечивает формирование сигналов синусоидальной, прямоугольной, треугольной форм, белый и розовый шумы, всевозможные импульсы различной частоты и длительности. Также на нем можно воспроизвести сигнал особого вида, записанный ранее в wave-файл. Регулировка уровня выходного сигнала осуществляется отдельно по левому и правому выходам. Есть возможность изменять фазовый сдвиг между каналами (подробно описано в справке).

Анализатор спектра может работать как в режиме автоматического определения амплитуды сигнала на заданной частоте, так и в режиме измерения полных гармонических искажений плюс шум THD+N (Total Harmonic Distortion plus Noise). При этом частоту, на которой эти параметры будут измеряться, можно задать вручную либо включить ее автоматическое определение (если входной сигнал определенной частоты). Диапазон рабочих частот и уровень входного сигнала анализатора спектра такие же, как и у осциллографа.

Так же, как и в предыдущей программе, для уменьшения ошибок, возникающих в процессе обработки сигнала и приводящих к погрешностям измерения, есть возможность включать корректирующие входные и выходные фильтры, позволяющие компенсировать влияние собственной неравномерности АЧХ звуковой карты на результаты измерений. Эти фильтры представляют собой обычный текстовый файл с расширением ***.cor**, правила создания которого подробно описаны в справочной системе.

Программа работает из Windows 95, 98 (инсталляционный файл для версии 1.4 занимает 1 Мб). Минимальные системные требования: Pentium 90 с ОЗУ 16 Мб.

Wintone

Win Tone v. 2.02 — программа декодера сигналов тонового набора телефонного номера (DTMF) при помощи звуковой карты. Поддерживается также ряд других современных стандартов.

Работает из Windows (wintn22.zip 1,5 Мб). ■

Анализатор логических сигналов

Анализатор — программа, которая позволяет генерировать импульсы и принимать сигналы с логическим уровнем для анализа работы реальной цифровой схемы (4 входа). Эпюры напряжений показываются на экране монитора в виде многоканальной осциллограммы. Для работы потребуется изготовить довольно простую приставку, которая подключается к любому из последовательных портов компьютера (COM1 или COM2). Более подробное описание данной программы можно найти в журнале [4], а саму программу переписать с сайта издательства.

Работает она из-под Windows (analizer.exe 423 Кб). Автор А. Шрайбер.

Unilogic — осциллограф на четыре канала для наблюдения логических сигналов. Имеется возможность их записи с последующим воспроизведением. Может выполнять роль частотомера. Схема подключения входных сигналов к LPT порту имеется в описании (это порт, куда обычно подключается принтер).

Программа написана для DOS (unilogic.zip 81,5 Кб). Автор А. Полюсов. ■

Разводка печатных плат и графические работы

Человеку свойственно ошибаться, но с помощью компьютера это ему удается намного лучше.

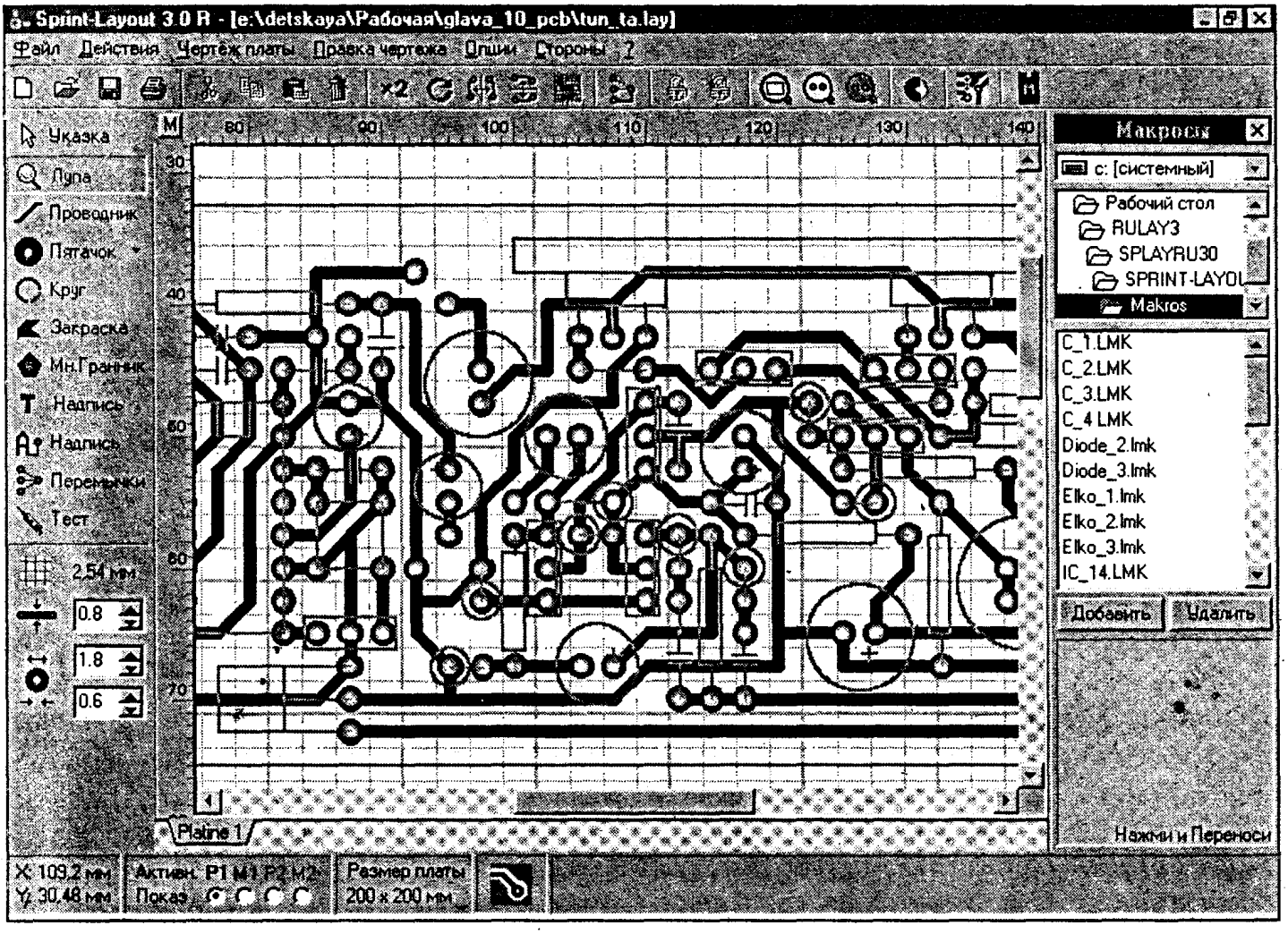
Опыт

Этот класс программ относится к чисто радиолюбительским технологическим «инструментам». Воспользовавшись ими, вы облегчите себе работу по «разводке» печатной платы, оформлению электрической схемы и разработке передней панели своего прибора.

Layout30

Sprint Layout v3.0 — программа для «ручной» разводки печатных плат, выпущенная немецкой фирмой Abacom Ingenieurgesellschaft. Своеобразная замена бумаги, карандаша и стирательной резинки. Очень удобна и проста в освоении, обладает русским интерфейсом.

Работает из Windows и не требует инсталляции (занимает на диске 793 Кб).



Существует несколько версий программы: 2-я и 3-я с русским интерфейсом, а также их дубли с немецким. Пользоваться удобнее, конечно, русифицированной 3-й версией — она предоставляет больше возможностей, да и работает, как показала практика, намного лучше.

При пользовании программой очень важно сразу определить, в какой «сетке» рисовать топологию. Отечественные компоненты типа микросхем «становятся» в сетку с шагом 2,5 мм, в то время как зарубежные — с шагом 2,54 мм. Если вы используете и отечественные, и импортные детали, при разводке топологии под конкретный компонент сетку можно перенастроить на другой шаг, а затем вернуться. Отверстия не «поедут». Переключение осуществляется слева в позиции всплывающей подсказки «координатная сетка». Также сразу желательно установить примерный размер платы.

В левой панели окна расположены характерные «кирпичики» топологии печатной платы — «проводник», «пятачок», «круг», «заливка», «многогранник», «надпись». Толщина линий может настраиваться, а элементы — выравниваться по сетке. Инструмент «тест» покажет вам весь нарисованный проводник — закрасит его другим цветом. Масштабирование изображения осуществляется инструментом «лупа», причем левой кнопкой «мыши» изображение приближается, а правой — удаляется. Выделение элементов, их перемещение осуществляются инструментом «указка». Выделенные элементы можно копировать и удалять, поворачивать, делать зеркальное отображение, группировать.

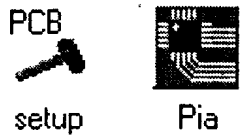
Программа имеет 4 слоя, переключаемых из панели, расположенной внизу окна. В одном слое удобно рисовать печатные проводники, в другом — контуры элементов. Можно также «разводить» двухстороннюю печатную плату.

Важное значение имеет библиотека макросов, панель которой расположена справа. Возможно создать типовое посадочное место и занести его в библиотеку, чтобы потом не перерисовывать, работая над другой печатной платой. В библиотеке уже содержится множество посадочных мест под разные элементы, так что не исключено, что вам не придется часто рисовать новые макросы. Кстати, вид макроса отображается в правом нижнем углу. Его можно перетащить «мышкой» на поле платы.

Надеемся, что вы быстро разберетесь с программой и стремительно нарисуете в ней хорошую плату. Что делать с ней дальше, когда последний проводник установлен? Конечно же — вывести на принтер! Для этого в программе имеется несложный интерфейс — окно предпросмотра, в котором вам придется самим задать слой печати, пропечатываемые элементы (дорожки, отверстия, сверловка), масштаб, количество дублей платы. Можно вывести зеркальное изображение.

Внимание — маленькая хитрость! Эскиз платы появляется в окошке — именно так он будет расположен на листе. Если вам не понравилось расположение, которое создал для вас компьютер, перетащите эскиз «мышкой» на место, которое вам нравится больше.

В заключение обзора этой программы отметим, что, как и в настоящих профессиональных программах, имеется возможность вывести специальные файлы gerber и drill для программирования автомата сверловки и фрезерования платы. К сожалению, авторы не имели возможности проверить, насколько хорошо программа выполняет эту задачу.

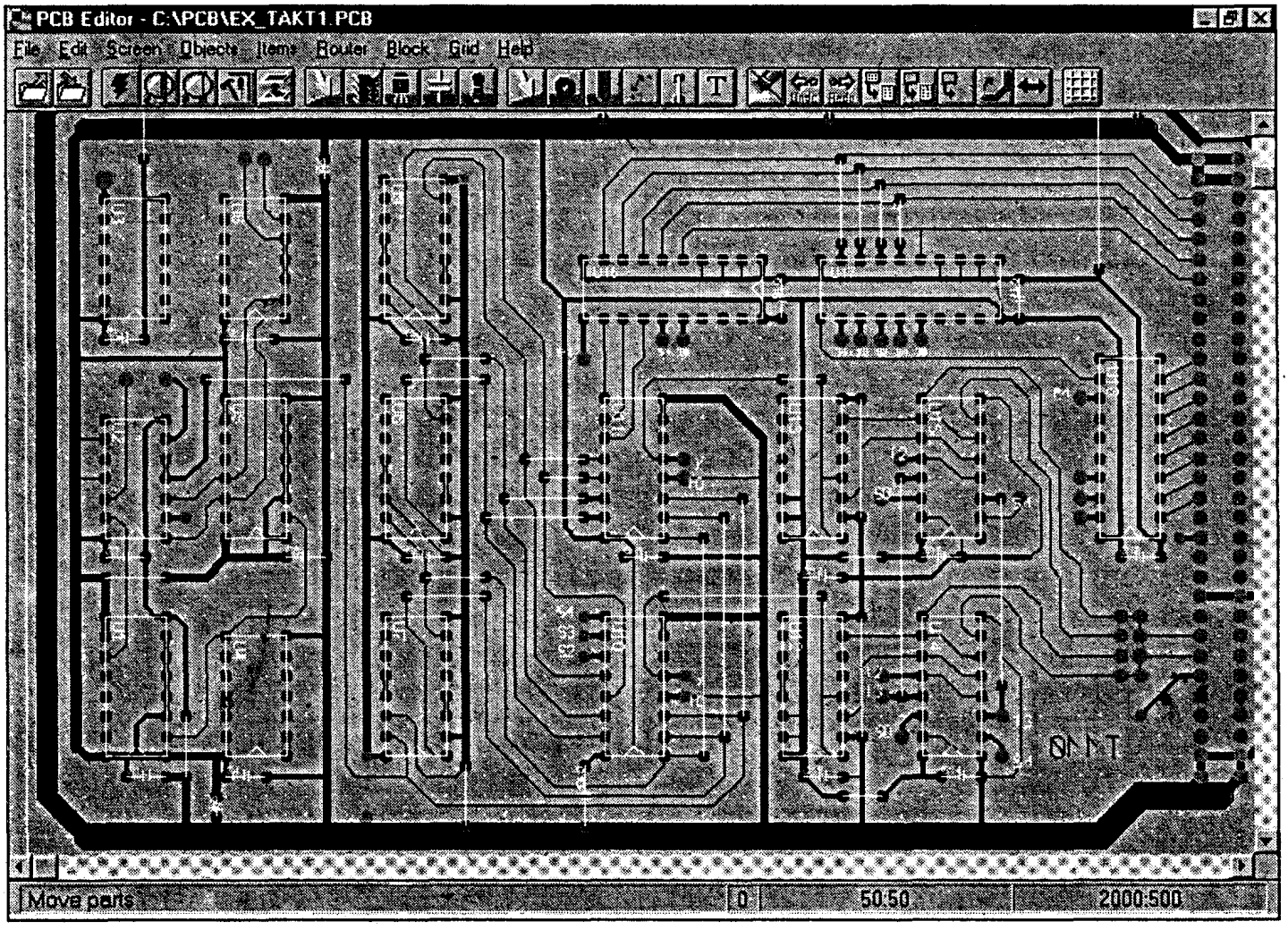


PIA v2.2b — программа для «ручной» и автоматической разводки печатных плат. Очень удобна при небольшом количестве корпусов. Работает не с библиотеками элементов, а с корпусами (870 Кб). Автор Andreas Waldher.

Программа предоставляет пользователю не слишком широкий выбор библиотечных посадочных мест компонентов. Имеются микросхемы в DIP-корпусах (количество «ножек» — от 8 до 28), транзисторы в корпусах TO-92 и TO-220, четыре вида резисторов и четыре — конденсаторов. Сразу после запуска программы в окне появляется библиотека некоторых других компонентов. Установки выбираются из меню «Objects/Setup objects». Остальные элементы, не представленные в библиотеке, придется рисовать самостоятельно, поскольку в данной демо-версии программы возможность занесения элементов в библиотеку не предусмотрена.

Весь инструментарий программы находится на верхней части окна, под меню. Здесь можно включать слои, переносить проводники из одного слоя в другой, копировать, удалять, менять их положение, толщину. В меню «Grid» настраивается сетка, в которой размещаются элементы печатной платы.

Очень заманчивым представляется для радиолюбителя режим автоматической трассировки платы, включаемый из меню «Router/Router». При этом проводники, расставленные инструментом «Connection for the router», автоматически располагаются по топологии. Программа не всегда может «развести» одно-



слойную печатную плату, поэтому необходимо включать режим двухсторонней трассировки или оперативно корректировать проводники введением технологических переходных отверстий.

Программа позволяет распечатать плату в разных масштабах и с разными настройками (в том числе печать сверловки и зеркало), а также создавать gerber-файлы.

ExpressPCBSetup

ExpressPCB

ExpressPCB — менее удачный вариант программы, позволяющей вручную «разводить» печатную плату. Имеются все необходимые инструменты, однако отсутствует предпросмотр в окне печати, стандартные посадочные места видны только в виде текстовых фрагментов.

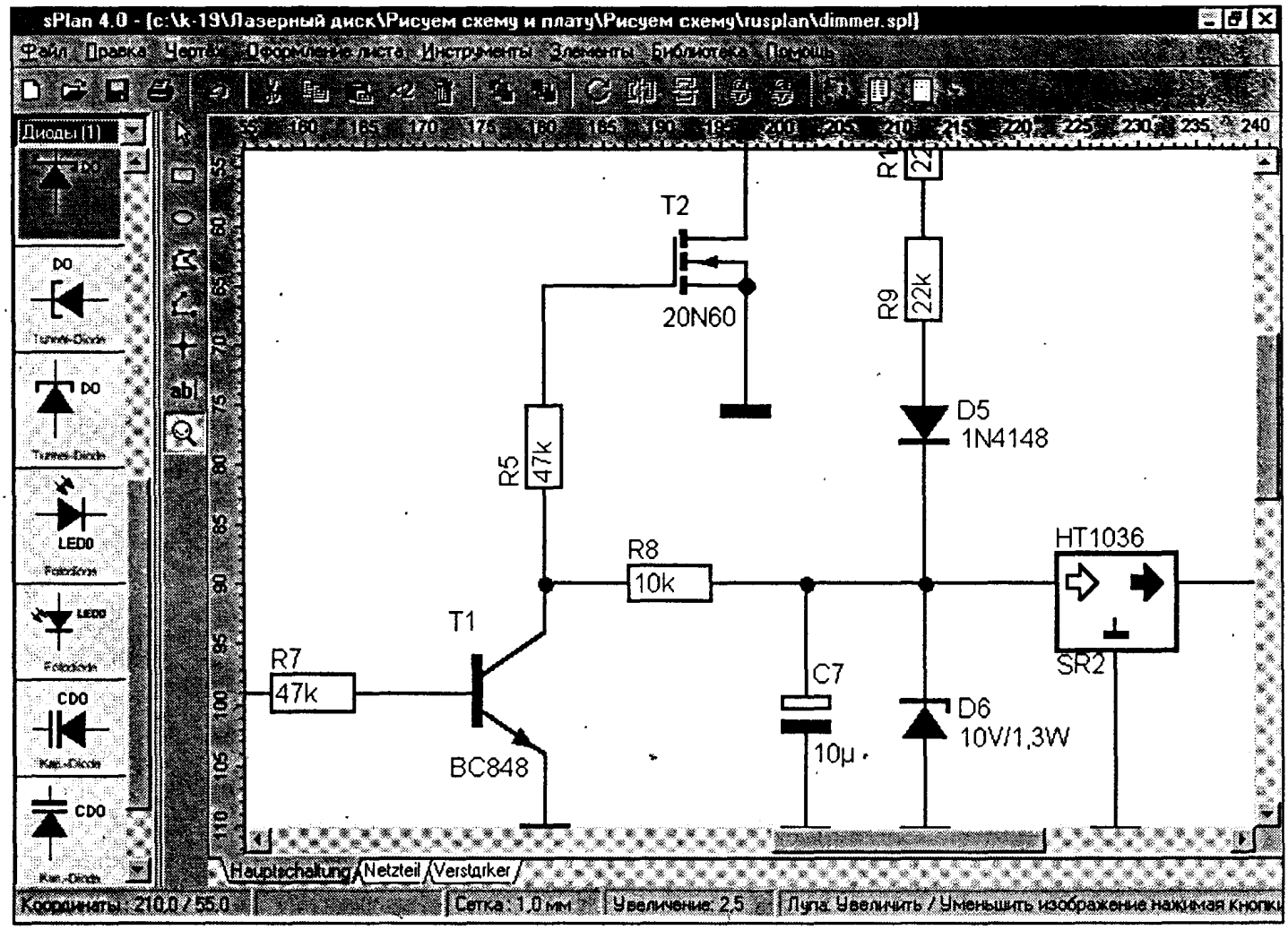
Работает из Windows, размер инсталлятора — 3,57 Мб.

Splan40

или

Spl

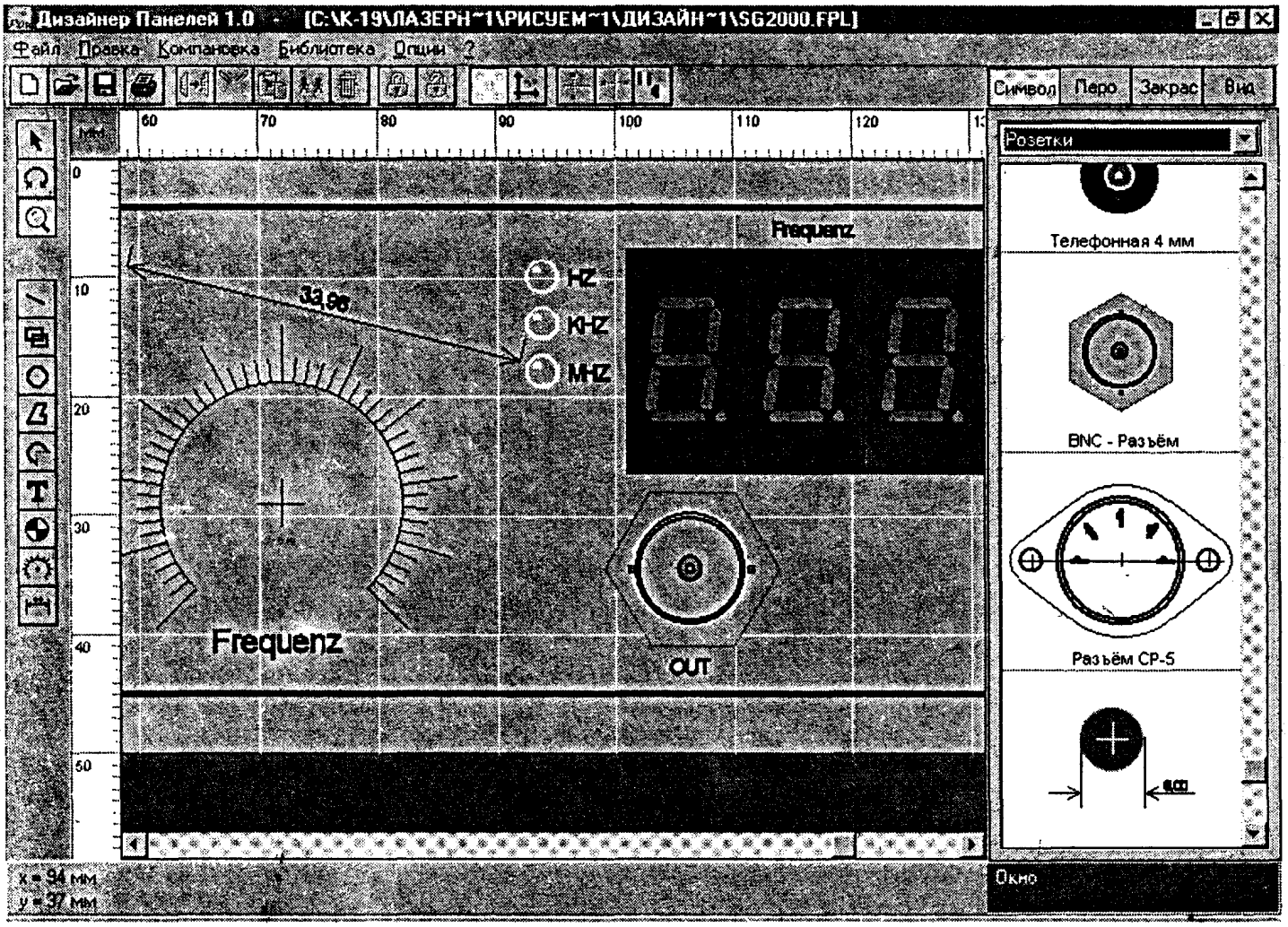
Splan-4.0 — русифицированная программа для создания принципиальных электрических схем. Слева в окне расположена библиотека элементов, которую можно дополнять новыми графическими обозначениями, в том числе и принятыми у нас в стране, — в соответствии с нормами ЕСКД. Радиолюбители могут воспользоваться уже готовыми графическими обозначениями, благо, их имеется достаточно. Кстати, схему можно экспортировать в формат **.bmp**, тогда, конвертировав ее в популярные в Интерне-



те форматы **.jpg** или **.gif**, возможно представить рисунок на своем сайте (если он, конечно, у вас есть). Удобный интерфейс печати имеет предпросмотр и масштабирование листа. Автоматически отцентрировать рисунок позволяет кнопка «центровка».

Очень простая в освоении программа, рекомендуемая радиолюбителям. Размер — 1 Мб.

Fdsigner — дизайнер панелей. Русифицированная отечественными умельцами программа от немецкой фирмы Abacom. Напоминает обычный графический продукт типа «короля дров» (Corel draw), если бы не одно «но». В библиотеке дизайнера содержатся готовые, нарисованные в масштабе символы элементов, обычно выносимых на передние приборные панели, — шкалы, гнезда, значки, кнопки, шильдики, сигналы. Размещая их на поле панели, можно скомпоновать вполне приличную «морду» прибора. Затем, распечатав ее на лазерном или струйном принтере, подложить под оргстекло.



Программа не требует инсталляции (размер — 1,35 Мб). ■

Программы для расчетов цепей и узлов

Работая над решением задачи, всегда полезно знать ответ.

Правило точности

RLC-цепи и элементы

calc-00

Радио-калькулятор позволяет быстро определить:

- общее сопротивление при параллельном включении резисторов;
- реактивное сопротивление конденсатора на заданной частоте;
- реактивное сопротивление катушки индуктивности;
- резонансную частоту контура по известным L и C;
- количество витков однослойной катушки для заданной индуктивности;
- количество витков многослойной катушки;
- номиналы элементов для аттенюатора мостового типа;
- номиналы элементов для аттенюаторов T и H типа.

Выполнена в виде Web-страницы (все файлы программы занимают 26 Кб), автор Harry Lythall.

Kontur32

Расчет колебательного контура — простая программа для быстрого расчета параметров колебательного контура в разных вариантах. Здесь же можно рассчитать параметры однослойной катушки с нужной индуктивностью.

Написана под Windows и инсталляции не требует (kontur32.exe 259 Кб). Автор К. Гранкин.

ccalc

capcalc

Capacitor Calculator — радиотехнический калькулятор для определения параметров параллельного или последовательного включения до 5 разных конденсаторов и постоянной времени RC-цепи.

Работает из Windows и инсталляции не требует (файл самораспаковывающего архива ccalc.exe занимает 118 Кб). ■

Расчет трансформаторов и дросселей

Почти в любом радиотехническом устройстве имеется трансформатор. Не всегда удается купить такое изделие с нужными параметрами. В этом случае соответствующие программы позволяют быстро выполнить расчет таких узлов для необходимых значений напряжения и тока в нагрузке. Вот некоторые из них.

Transss

Transss! — программа для упрощенного расчета сетевого (220 В, 50 Гц) трансформатора с Ш-образным магнитопроводом. Вводится входное напряжение, необходимое выходное на нагрузке (после выпрямительного моста в пределе 3...130 В) и ток в нагрузке (в интервале 0,1...1 А). Все остальное (число витков и диаметр провода для каждой из обмоток, мощность трансформатора, площади сердечника и окна) вычисляется автоматически. Работает из Windows, и инсталляция не требуется (transss.exe 34 Кб).

tr

TR — позволяет выполнить расчет трансформатора или дросселя. Знает разные виды магнитопроводов. Работает из Windows, и инсталляции не требуется (все файлы занимают 335 Кб). ■

Программы для аналоговых таймеров

Довольно широко используются в разных конструкциях аналоговые таймеры из серии 555 (отечественный аналог К1006ВИ1). Выполняющие расчет временных параметров таких узлов, имеется много разных вспомогательных программ для персонального компьютера (вы их найдете на компакт-диске). Здесь мы отметим только две. Пользоваться ими довольно просто: после запуска выбираем режим генератора (Astable) или одновибратора (Monostable) и вводим исходные значения времязадающих элементов. После этого сразу получаем рассчитанную частоту для генератора, собранного по типовой схеме (дополнительно еще может показываться рассчитанная длительность импульса (T1) и рабочий цикл «duty cycle» — D = T1/T), а для одновибратора — только длительность импульса.

ic_555

555 timer component selection — удобная программа, которая, в отличие от остальных, позволяет сразу выбирать номиналы времязадающей цепи из стандартного ряда (E24) для элементов. Значения при расчете могут использоваться для резисторов от 1 кОм до 1 МОм, конденсаторов от 1000 пФ до 1000 мкФ. Правда, программа вас предупредит, что использовать конденсаторы с емкостью более 100 мкФ не рекомендуется (для микросхем, выполненных по биполярной технологии), но расчет все равно выполнит. Написана для Windows 95, 98 и не требует инсталляции (файл ic_555 занимает 221 Кб).

555

555 TIMER — программа позволяет рассчитать частоту автогенератора. При этом параметры резисторов можно вводить любые в интервале от 100 Ом до 10 МОм, а емкость от 100 пФ до 1 Ф. Написана для DOS (инсталляция не требуется), но работает и в Windows 95, 98 в режиме эмуляции DOS (весь комплект файлов занимает 215 Кб).

Существует много программ расчета, выполненных в виде HTML-документов (интернетовских страниц). Для их независимого использования (без подключения к Интернету) необходимо их переписать, сохранить на своем компьютере, перейдя к меню «Добавить в избранное», отметив галочкой опцию «Сделать доступной автономно». Варианты таких программ и обучающую информацию по практическому использованию таймеров вы сможете найти в Интернете по адресам:

http://webhome.idirect.com/~jadams/electronics/555calcs.htm
http://www.hot.ee/ps00/ele/555.htm
http://www.ilmu.8k.com/kalkulator/kal555.html
http://www.westminster.org.uk/intranet/departments/electronics/555.htm
http://www.williamson-labs.com/555-circuits.htm
http://ourworld.compuserve.com/homepages/Bill_Bowden ■

Обзор обучающих программ

Я умею только сомневаться.
Вольтер

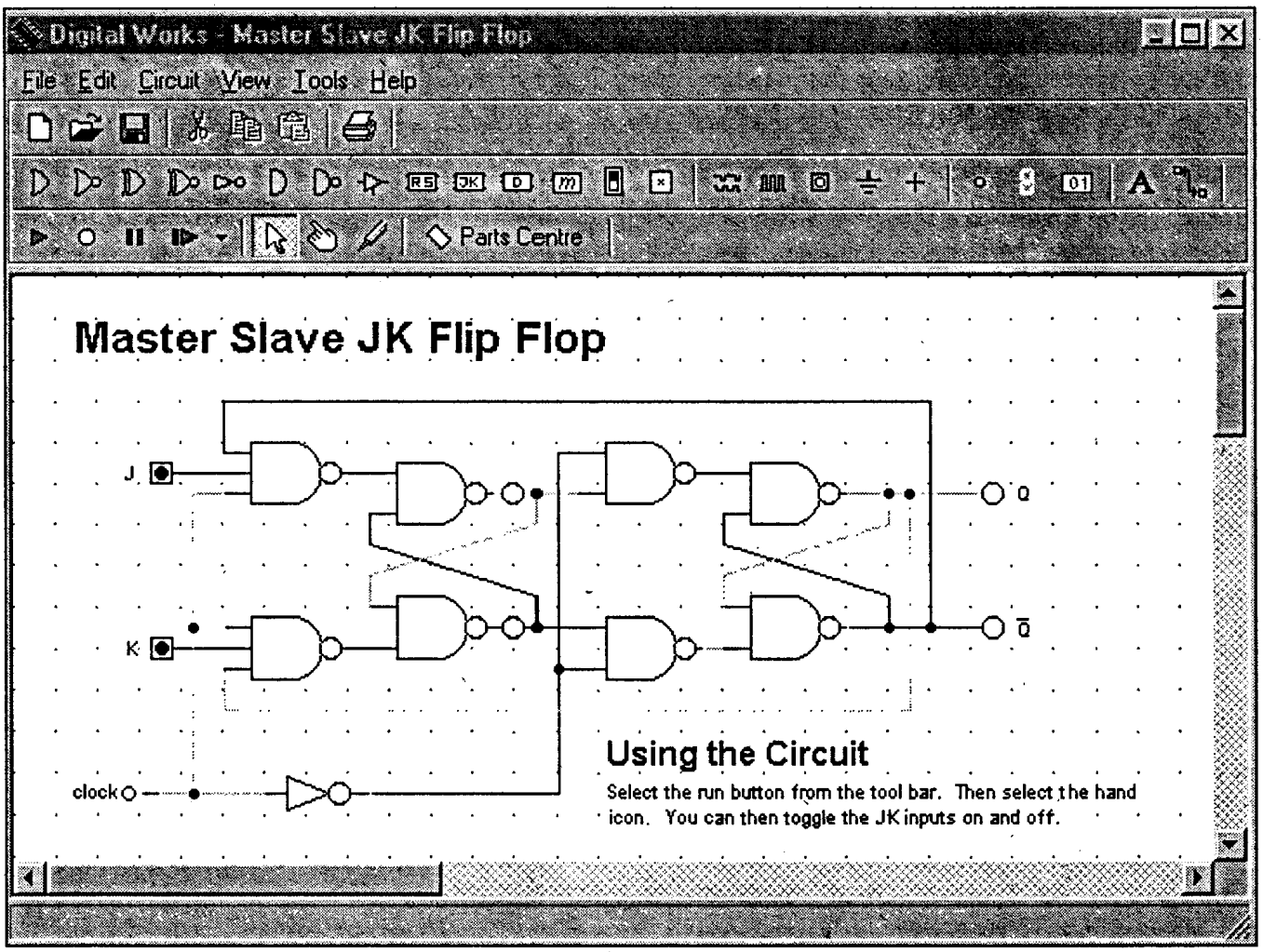
Этот класс программ пригодится только начинающим радиолюбителям. Скорее всего, вы не будете использовать их в своей практической деятельности. Но они помогут легче запомнить азы построения электронных схем.

dw3_install

DigitalWorks

Digital Works 3.04 — демонстрационная версия простой и легкой в освоении программы, позволяющей виртуально имитировать работу логических (цифровых) схем, графически представив их на экране монитора. Программа дает возможность анализировать поведение элементов схемы в режиме реального времени. Это облегчает процесс обучения цифровой электронике.

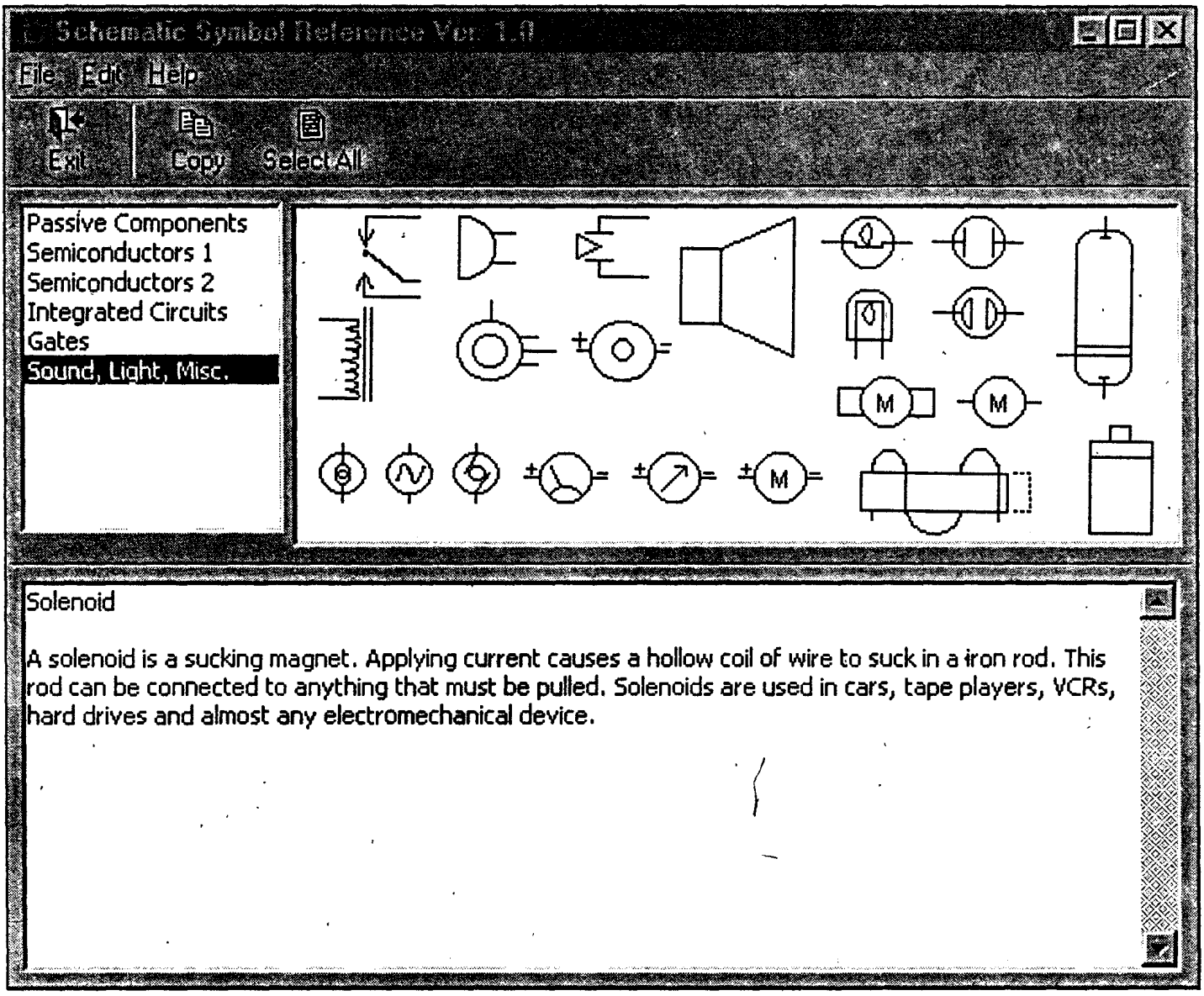
После инсталляции работает программа из Windows (dw3_install.exe 1,6 Мб).



setup

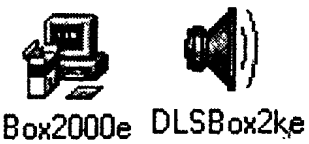
schem

Schematic Symbol Reference ver. 1.0 — программа позволяет познакомиться с особенностями в обозначениях различных радиодеталей за рубежом. Выделив интересующий компонент, вы сразу получите его краткое описание, правда, на английском языке. Работает из Windows после инсталляции (227 Кб). Автор Aaron Cake.



Tone Stark Calculator, версия 1.2 — программа для 7-ми типовых схем пассивных регуляторов тембра, демонстрирующая их все характеристики. Позволяет сразу показать амплитудно-частотную характеристику при изменении положения виртуальных регуляторов.

Работает из Windows (tsc120.exe 945 Кб).



DLS Box 2000 — программа для расчета и демонстрации характеристик низкочастотной акустической колонки в зависимости от ее конструкции. Вам достаточно выбрать один из распространенных вариантов конструкций из меню, а также найти в базе данных тип динамиков на нужную мощность.

После инсталляции работает из Windows (dxsbox2000eng.zip 3,3 Мб).

Программы для моделирования схем

Интуитивно понятный интерфейс — это такой интерфейс,
для работы с которым нужна недюжинная интуиция.

Иногда шутка

Проектирование сложных схем сегодня уже немыслимо без компьютера. Это позволяет ускорить процесс разработки и сократить затраты времени и средств. Ведь физическое исследование влияния разных изменений в устройстве более трудоемко, поскольку требует макетировать схему «живьем», проводить сложные измерения. Компьютер позволяет быстро и наглядно получить ответы на большинство возникающих вопросов; не рискуя при этом повредить сами элементы схемы. Но не следует думать, что виртуальное моделирование избавит от необходимости в конечном итоге проверять результаты работы устройства на реальной (собранной в «железе») схеме или от необходимости разбираться в схемотехнике, т. е. особенностях построения схем. Пока компьютер еще не умеет придумывать хорошие схемы, а позволяет только проанализировать параметры предложенного ему варианта. Именно синтез схемы является творческим процессом.

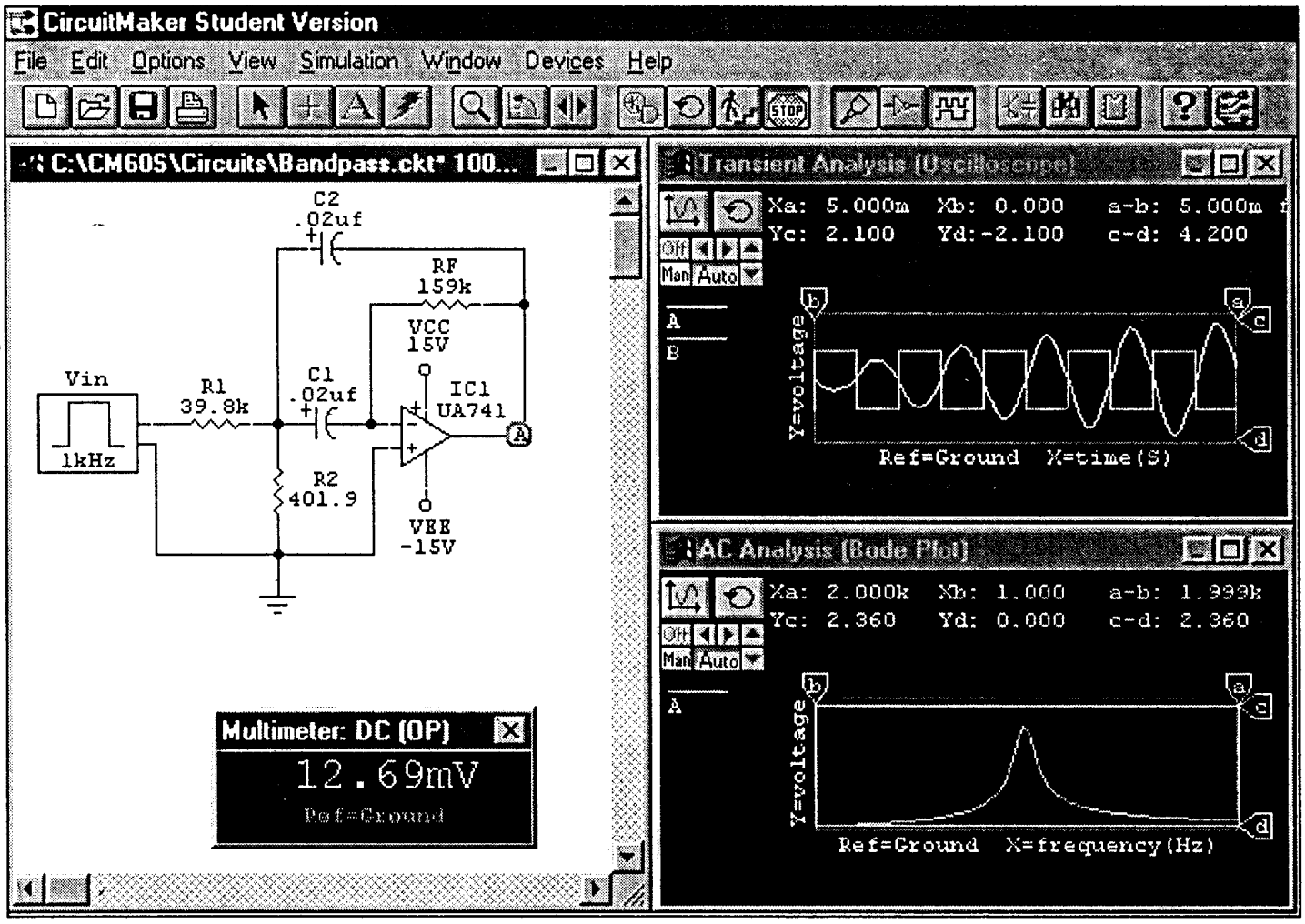
Существует достаточно большое количество программ для расчета схем и демонстрации их характеристик. Все они отличаются по возможностям, скорости работы и сложности освоения (большинство этих программ является лицензионными и достаточно дорогостоящими продуктами). Кроме знаний технического английского языка (многие имеют англоязычный интерфейс), сложность освоения заключается в основном в том, что для многих элементов, с которыми приходится реально иметь дело, в программах нет готовых математических моделей. Их приходится вводить самостоятельно по имеющемуся шаблону. Так, например, даже для такого простого элемента, как трансформатор, чтобы создать математическую модель (конкретного типа, имеющегося у вас в руках) потребуется вводить от 15 до 40 параметров, большую часть из которых вы не найдете ни в одном справочнике (придется измерить самостоятельно). А точность конечного результата работы любой программы зависит не только от точности исходной виртуальной модели каждого элемента, но и от алгоритма вычислений.

Все эти программы можно назвать современными, так как они выполнены для Windows. После инсталляции можно использовать все приемы, которые имеются в «Окнах» (перетаскивание объектов мышкой, копирование в буфер и др.). Помочь разобраться с интерфейсом поможет имеющаяся в каждой программе справочная система и собственная интуиция. В комплекте, как правило, имеется большой перечень уже готовых (нарисованных) схем-примеров, что помогает быстрее узнать возможности программ.

Каждая из программ для моделирования имеет свои особенности, с некоторыми из которых вы и познакомитесь. Вот список основных, наиболее известных программ (в скобках указан Интернет-адрес фирмы-разработчика, где можно получить оценочные или студенческие версии, другую дополнительную информацию):

Circuit Maker — электронная лаборатория, которая может использоваться для наглядного обучения основам электротехники и электроники. (http://www.microcode.com/downloads/student.htm). В базе содержится много типовых схем.

Файл программы в архивном виде занимает 3,3 Мб (бесплатную студенческую версию 6 вы найдете на компакт-диске).



Electronics Workbench — универсальная программа была разработана в 1989 г. фирмой Interactive Image Technologies (http://www.interactiv.com) и в настоящее время распространяется уже ее 6-я версия. Демонстрационная версия работает 30 дней.

Версия v. 5.12 программы (наиболее распространена из-за своих умеренных требований к компьютеру) предназначена для работы из Windows 95, 98, NT 3.51. В компьютере требуется не менее 8...12 Мб оперативной памяти. Сама программа занимает на винчестере около 16 Мб и еще 10 Мб потребуется для хранения временных файлов.

Программа очень проста в освоении и удобна в работе (разобравшись с ней, вы легко сможете освоить и более сложные программы). Позволяет анализировать работу электронных схем (цифровых и аналоговых). Имеет обширную библиотеку компонентов (полупроводниковых приборов и микросхем разных фирм), а также включает генераторы сигналов, осциллографы,

тестеры. Пользователю не нужно изучать правила составления задания на моделирование — достаточно составить схему из нужных элементов (имеющихся в базе) и разместить на ней измерительные приборы. В отличие от других программ, на экране выводится изображение виртуальных измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам.

После составления схемы процесс моделирования начинается подачей питания при помощи виртуального включателя (расположен в правом верхнем углу панели инструментов). Воспользовавшись имеющимися в меню панели инструментов программами анализа можно получить любую информацию о работе схемы.

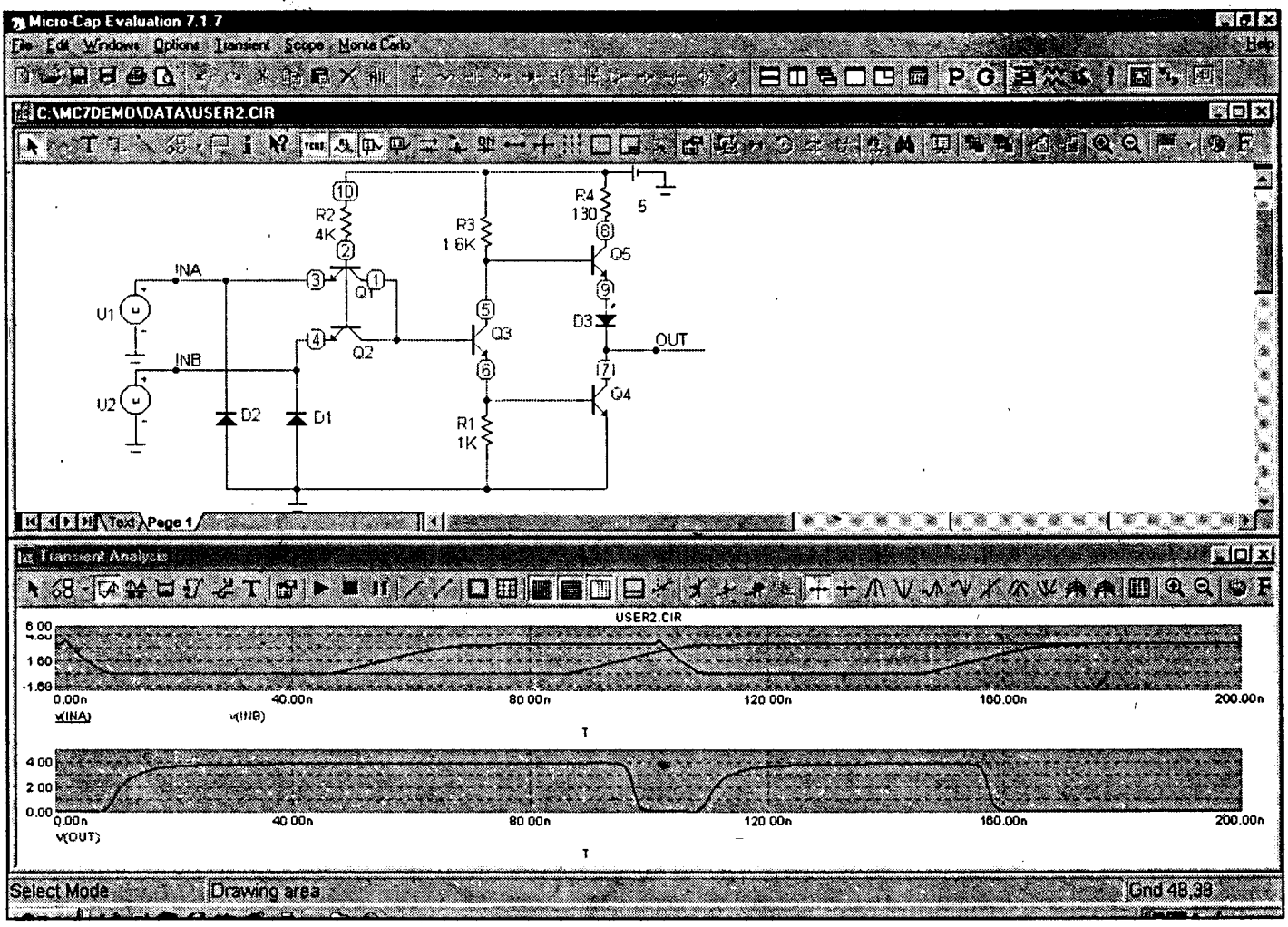
Возможностей программы вполне достаточно для моделирования цепей и каскадов усилителей не только на транзисторах, но и на радиолампах. Имеется возможность экспорта схемы в программы PCB-трассировки (автоматизация выполнения топологии печатной платы).

Setup

mc7demo

Micro-Cap Evaluation — пакет схемотехнического моделирования, который может использоваться и для наглядного обучения основам электротехники. Разработан фирмой Spectrum Software (http://www.spectrum-soft.com).

Работает программа под управлением Windows 95, 98, 2000, NT 4.0. Файл программы в архивном виде занимает 3,5 Мб (бесплатную студенческую версию вы найдете на компакт-диске).



SE Amp CAD v.1.01 и **Tube CAD** v.1.1 (разработаны фирмой GlassWare) — эти две программы дополняют друг друга и предназначены только для расчета всех типовых схем усилителей на радиолампах. Удобны тем, что сами схемы рисовать не нужно — они уже имеются в базе программ. Программы могут использоваться и как справочная база данных по радиолампам.

Serenade 8.0 — пакет для анализа и моделирования схем.

Фирма Compact Software (http://www.comsoft.com) выпускает целый перечень программных продуктов:

Microwave Explorer 4.0 — для моделирования антенн;

Microwave Success 2.0 — моделирование систем связи;

Super-Spice 1.0 — моделирование электронных схем семейства SPICE, с моделями устройств СВЧ;

Microwave Scope — моделирование оптико-электронных устройств;

Compact Scout — программа идентификации параметров нелинейных моделей транзисторов по результатам измерения статических характеристик и S-параметров.

Профессиональные разработчики пользуются комплектом программ, входящих в состав системы P-CAD 2001. Это целый пакет лицензионных интегрированных программ (т. е. работающих друг с другом), позволяющий автоматизировать разработку любых печатных плат, включая многослойные платы. Все программы (модули) этого пакета начинаются с **P-CAD**, а далее идет указание на назначение:

Schematic — графический редактор схем;

PCB — графический редактор печатных плат;

Autorouters — автоматический трассировщик проводников плат;

Library Executive — администратор библиотек и др.

Эти программы универсальны, могут легко модифицироваться для разных радиотехнических применений, но без изучения соответствующей литературы освоить их практически невозможно.

ACCEL EDA (http://www.acceltech.com) — пакет программ для анализа и высококачественного проектирования для промышленного производства печатных плат;

CAM350 — (http://www.ecam.com);

DesignLab — (http://www.microsim.com);

LabView — (http://www.ni.com);

SPECCTRA — автоматический трассировщик проводников печатных плат (http://www.cctech.com);

конвертор P-CAD SPECCTRA — (http://www.maxnet.ru/p2s).

В продаже имеется достаточно много книг, посвященных этим программам компьютерного моделирования (в рамках этой книги описать особенности их не удастся, да и, скорее всего, не всем это нужно).

Заканчивая рассказ о самых важных программах, следует знать, что существуют и многие другие, например превращающие компьютер со звуковой картой в НЧ-частотомер или измеритель параметров компонентов. ■

Что есть полезного в Интернете

Информация — это знания, которые вы приобретаете, когда ищете совершенно другое.

Автор неизвестен

Широкое распространение персональных компьютеров и совершенствование средств связи делают всемирную «паутину» доступной все большему числу людей. В Интернете представлены все существующие в мире интересы и увлечения, но эту информацию надо суметь еще найти. ■

Информационные поисковые системы

Для обнаружения в ресурсах Интернета сайтов с нужной информацией существуют электронные поисковые системы на серверах в самой сети, а также специальные компьютерные программы, позволяющие формировать запрос поиска одновременно на многие серверы (10...30), что значительно ускоряет поиск.

Все поисковые системы можно разделить на универсальные и специализированные. Универсальные — пригодны для поиска любой информации, например такими являются:

Google	http://www.google.com
Altavista	http://www.altavista.com
Rambler	http://www.rambler.ru
Яndex	http://www.yandex.ru
Aport	http://www.aport.ru
Yahoo	http://www.yahoo.com

Этот список можно продолжить — он получится довольно длинным, поэтому приведены только самые популярные «поисковики». Специализированные поисковики обычно узко направленные (тематические и справочные), например:

РадиоЛоцман http://www.rlocman.com.ru — каталог ресурсов по радиоэлектронике. Имеется поисковая база данных не только по элементам, но и по схемам, находящимся на других сайтах.

ChipInfo http://www.chipinfo.ru — информационный сервер по радиоэлектронике. Имеется собственная база данных по отечественным электронным компонентам с возможностью поиска информации как по наименованию, так и по функциональным возможностям. Приводится техническая документация для большого количества радиодеталей.

В любой поисковой системе используются ключевые слова (на русском или английском языках) или обозначения, которые вы задаете сами. От того, насколько точно вы выберете характерное слово, которое должно присутствовать в искомом документе, во многом зависит эффективность поиска. Иногда удоб-

нее сразу задавать не одно, а несколько слов, разделенных логическими знаками (регистр букв — они заглавные или обычные значения не имеет). Например, задание на поиск:

история радио — приведет к обнаружению всех материалов, где два слова есть одновременно (и стоят в любой последовательности);

история+радио — при поиске будут обнаружены только те документы, где эти слова стоят рядом.

В поисковых системах существует еще ряд правил, помогающих найти именно то, что нужно. Не стоит огорчаться, если система на введенный запрос выдает десятки, а то и сотни тысяч ссылок (все их просмотреть просто нереально, к тому же наверняка часть совершенно бесполезны, устарели или не работают). Поиск можно повторить в уже найденных ссылках, но уточнив задачу дополнительными ключевыми словами.

Для облегчения поиска необходимого адреса из миллионов имеющихся издаются специальные справочники, которые вы можете найти в магазинах. В этом разделе дается коллекция ссылок на те ресурсы, которые могут пригодиться радиолюбителям и радиоинженерам. В приведенный список вошли только серверы и отдельные сайты, имеющие большой объем полезной информации. ■

Справочная информация по радиодеталям

Многие известные производители радиодеталей помещают техническую документацию на свои изделия в Интернет. Для удобства на многих фирменных сайтах имеется поисковая система по собственной продукции. Это позволяет получить свежую и наиболее полную информацию.

Когда изготовитель не известен, а на детали есть только его логотип, то выяснить, что это за фирма, можно по справочнику. Для некоторых радиодеталей определить фирму иногда можно также по префиксу в маркировке, воспользовавшись справочной таблицей [5]. Зная фирму, ее Интернет-адрес, можно найти в справочнике [6] или на поисковых серверах радиотехнической направленности. Наиболее полную базу данных для поиска адресов зарубежных производителей электронных компонентов можно найти на серверах:

Semiconductor Datasheets on the Web	http://www.bgs.nu/sdw
Electronic Components Directory	http://www.electronet.com
Asian Sources	http://www.asiansources.com
Taiwan Universal Commerce Information Center	http://www.commerce. com.tw/e

Базы данных по адресам фирм, включая отечественных производителей, есть и на других сайтах, например:

http://www.chipinfo.ru/dsheets/manufacturers/index.html
http://www.gaw.ru/_menu/firm.htm
http://www.bgs.nu/sdw
http://krasnodar.online.ru/hamradio/elcomp.htm
http://homepage.dave-world.net/~donw1948/index.html

Следует отметить, что немало справочной информации по электронным компонентам имеется и на сайтах крупных отечественных торгово-промышленных фирм, занимающихся продажей электронных компонентов и изделий из них, например:

ИТИС (http://www.itis.spb.ru/win) — на сайте имеется много хорошо представленной справочной информации.

ПЛАТАН (http://www.platan.ru) — вся информация на сайтах дублирует каталог, который можно купить в магазинах фирмы. Прайс-лист на радиодетали и та же самая справочная информация приведены по второму адресу: http://www.chip-dip.ru

ПРОМЭЛЕКТРОНИКА (http://www.promelec.ru) — кроме прайс-листа и поисковой базы по элементам, имеется справочная информация по импортным и отечественным радиодеталям. ■

Сайты для радиолюбителей

Некоторые из Web-сайтов сделаны радиолюбителями и полностью посвящены радиотехнике и радиоэлектронике. Там можно найти много интересного и полезного, например, электрические схемы самодельных и выпускаемых промышленностью радиотехнических устройств, справочную информацию на отечественные и импортные компоненты и многое другое. Большой перечень таких адресов приведен на компакт-диске и в книге [7]. Поэтому здесь мы отметим только несколько из них.

Радиофанат — представлено много схем для самостоятельного изготовления радиолюбителями. Имеются ссылки на другие ресурсы, связанные с радиотехникой. По второму адресу находится зеркальная копия сайта.

http://www.nnov.rfnet.ru:8100/rf
http://www.chat.ru/~nikbol

Справочник для радиолюбителя — сайт со схемами, которые охватывают широкий круг интересов. Приведены ссылки на радиолюбительские ресурсы и источники получения информации в Интернете. Здесь каждый сможет найти для себя что-то полезное.

http://www.chat.ru/~happer

Верстак — сайт русского хакера. Имеется много полезной информации, например по методам улучшения работы телефонного модема и многое другое...

http://bepctak.da.ru
http://www.chat.ru/~wrkbench

Принципиальная схемотехника — название сайта говорит само за себя.

http://www.pool.mipt.ru/radio_other.php

Конструирование и радиолюбительские технологии — приемы и принципы конструирования, схемы и описание отдельных узлов и устройств.
http://vksn.narod.ru/design/designer.html

Много практических схем и информации можно найти и на зарубежных сайтах:

FC's Electronic Circuits
http://www.solorb.com/elect

Bowden's Hobby Circuits
http://ourworld.compuserve.com/homepages/Bill_Bowden

Tomi Engdahl's Electronics Pages
http://www.hut.fi/Misc/Electronics/circuits/

Circuit Exchange Links
http://www.mitedu.freeserve.co.uk/links.html

Alex's Library — GENERAL
http://www.iserv.net/~alexx/lib/general.htm

По приведенным ниже адресам имеется большой каталог ссылок на зарубежные радиотехнические ресурсы:

http://home.t-online.de/home/Holger.Heinemann/homepage.htm?elektro2.htm
http://ourworld.compuserve.com/homepages/Bill_Bowden/homepage.htm#menu ■

Бесплатные программы в Интернете

Некоторые радиотехнические расчеты можно выполнять прямо на Web-сайте, например, по адресам:

http://es-i2.fernuni-hagen.de/JAVA — расчет разных цепей и спектра сигналов с демонстрацией полученного результата графически;

http://pr.erau.edu/~newmana/imped.html и

http://www.cvs1.uklinux.net/calculators/right.html — расчет активных и реактивных цепей.

Большинство из таких программ можно сохранить на своем компьютере в любой из папок раздела Избранные, отметив опцию «Сделать доступной автономно» и использовать даже без подключения к Интернету (рисунки, которые используются на сайте программы тоже надо копировать и поместить в одном месте с запускающим адресом). Но с программами, применяющими JAVA-модули, такой фокус не удастся.

А так как подключаться к Интернету в любое время могут себе позволить не все, здесь мы в основном рассматриваем только «независимые» программы, которые для своей работы не требуют связи с сетью. Для их перезаписи на свой компьютер существует тоже довольно много серверов. На них тематика не ограничивается радиотехникой, а что называется, на все случаи жизни. Там есть бесплатные (freeware), условно бесплатные (shareware), т. е. требующие регистрации после определенного времени эксплуатации — это обычно от 20 до 60 дней, и демонстрационные (demo) версии с ограниченными возможностями, но без ограничений времени работы. Основная масса программ свободно распространяется и не имеет никаких ограничений в использовании. Вот несколько лучших адресов (другие вы найдете на компакт-диске):

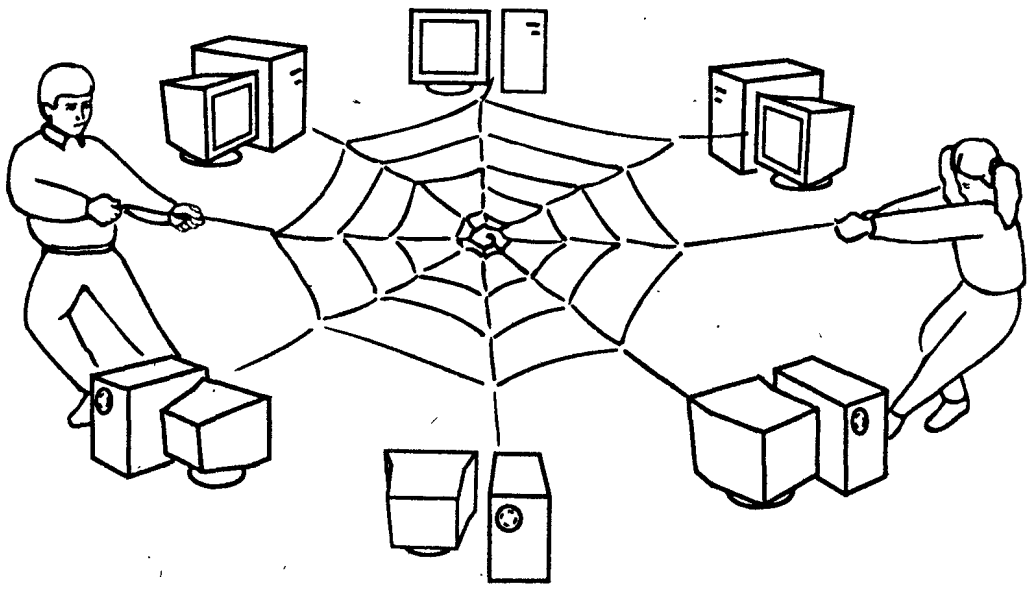
List Soft (http://www.listsoft.ru) — имеется большой каталог свободно распространяемых простых программ.

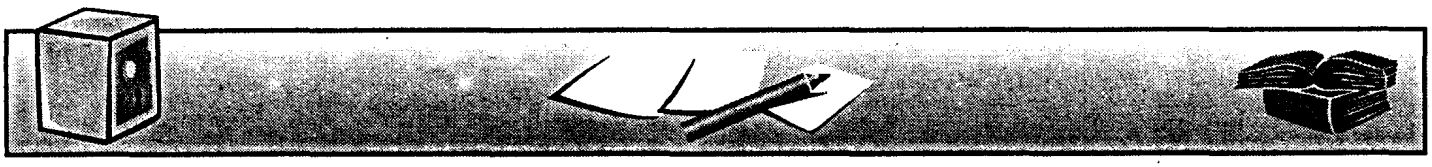
Download.RU (http://www.download.ru) — большой перечень программ для Windows.

Free Ware (http://www.freeware.ru) — коллекция бесплатных программ для Windows. Никаких демонстрационных и условно бесплатных. ■

Литература

1. Радиохобби. 1998. № 6. С. 32.
2. Радиохобби. 1999. № 1. С. 38.
3. *Васильченко И. Е., Наседкин К. С.* Электронные лампы, УНЧ, трансформаторы и компьютер. — М.: Солон-Пресс, 2003.
4. Радио. 1999. № 10, С. 22.
5. *Садченков Д. А.* Маркировка радиодеталей отечественных и зарубежных. Справочное пособие. Том 2. — М.: СОЛОН-Р, 2002.
6. *Нестеренко И. И.* Цвет, код, символика радиоэлектронных компонентов. — М.: СОЛОН-Р, 2002.
7. *Шелестов И. П.* Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 4. — М.: СОЛОН-Р, 2001.





Рекомендуемая литература

Книги нужны, чтобы напоминать человеку,
что его оригинальные мысли не так уж новы.

Авраам Линкольн

Итак, вы прочитали внимательно всю книгу и надеемся, что не зря. Теперь, после сборки простейших конструкций, у вас уже появился некоторый опыт. Что делать дальше? Мы постараемся ответить и на этот вопрос. Конечно же продолжать образование! Как утверждает французская поговорка: *Знания, которые не пополняются ежедневно, убывают с каждым днем.* Ну а лучшим источником знаний является... Правильно! ... хорошая книга.

Вы можете спросить: «А как же компьютер? Ведь в последнее время появилось немало электронных изданий (в основном пиратских), которые можно читать прямо с экрана монитора!» Несмотря на это, многие специалисты считают, что обычная книга в ближайшем будущем не потеряет своей популярности. Причин тут несколько. Во-первых, текст с бумажного листа читается в два раза быстрее и лучше воспринимается (т. е. запоминается). Во-вторых, техническая литература содержит много графической информации, которую удобно, а иногда просто необходимо иметь в распечатанном на бумаге виде. В какие деньги обойдется распечатка на собственном принтере, несложно подсчитать — сумма намного превысит стоимость типографской книги. В-третьих, нужную информацию в книге можно быстро найти и воспользоваться ею даже там, где нет компьютера. К тому же у вас никогда не появится надпись: «Книга выполнила недопустимую операцию и будет закрыта».

Впрочем, не все то, что имеет текст и похоже на книгу, таковой является. Со временем по оформлению и содержанию вы, конечно, и сами научитесь разбираться что есть что. Но иногда с первого взгляда отличить хорошие книги от плохих довольно сложно даже специалисту. Тем более, что сегодня издается очень много макулатуры (особенно в разделе технической литературы). Поэтому данный небольшой путеводитель в мире книг поможет выбрать для чтения по интересующим вас направлениям самое лучшее, а если точнее, то лучшее из хорошего.

Сразу отметим, что список не претендует на полноту (нельзя объять необъятное). По крайней мере, эта техническая литература содержит много информации для обучения начинающих радиолюбителей и практического использования полученных знаний. Кроме того, изложена она в легко доступном для понимания виде, что не менее важно.

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах. Пер. с англ. — 4-е изд. перераб. и доп. — М.: Мир, 1993.

Работа известных американских специалистов посвящена быстро развивающимся областям электроники. В ней приведены наиболее интересные технические решения, а также анализируются ошибки разработчиков аппаратуры. Внимание читателей сосредотачивается на особенностях проектирования и применения электронных схем.

Том 1 содержит сведения об элементах схем, транзисторах, операционных усилителях, активных фильтрах, источниках питания, полевых транзисторах.

Том 2 содержит сведения о прецизионных схемах и малошумящей аппаратуре, о цифровых схемах, о преобразователях информации, мини- и микро-ЭВМ и микропроцессорах.

Том 3 содержит сведения о микропроцессорах, радиотехнических схемах, методах измерения и обработки сигналов, принципах конструирования аппаратуры и проектирования маломощных устройств.

2. Кизлюк А. И. Справочник по устройству и ремонту телефонных аппаратов зарубежного и отечественного производства. — М.: БИБЛИОН, 1997.

В книге, переиздававшейся и в последующие годы, подробно описан принцип работы всех узлов современных телефонных аппаратов. Приведены практические схемы и полезные рекомендации для ремонта. Содержится также справочная информация по часто применяемым импортным и отечественным компонентам.

3. Бирюков С. А. Цифровые устройства на МОП интегральных микросхемах. — М.: Радио и связь, 1990.

Описаны принципы использования интегральных микросхем серий К176 и К561, приведены описания формирователей и генераторов импульсов, квазисенсорных переключателей, измерительных схем, а также различных других устройств с использованием МОП интегральных микросхем.

4. Колдунов А. С. Радиолюбительская азбука. Том 1: Цифровая техника. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003.

Это самоучитель для тех, кто хочет научиться разбираться в цифровой радиоэлектронике. В ней рассматриваются принцип работы и особенности применения современных логических микросхем. Приведены примеры практических конструкций, рассчитанных на школьников и начинающих радиолюбителей.

5. Миль Г. Электронное дистанционное управление моделями. Пер. с нем. В. А. Пальянова. — М.: ДОСААФ, 1980.

Приводятся сведения по разработке и использованию устройств дистанционного управления различными самодвижущимися моделями. Причем основное внимание автор уделил радиоуправлению. Приводится много достаточно

простых практических схем приемников и передатчиков для этих целей. Удачно сочетается теория с практикой, что делает книгу актуальной и сегодня.

6. Шелестов И. П. Радиолюбителям: полезные схемы (5 книг). — М.: СОЛОН-Пресс. 2003.

Книга 1 предназначена для тех, кто увлекается техническим творчеством и любит все делать своими руками. Приведены практические схемы различного назначения, а также подробно описана методика изготовления и настройки. Все радиоэлектронные устройства собраны на современной отечественной элементной базе — КМОП-микросхемах и транзисторах, работающих в режиме микротоков. Некоторые схемы являются полезным дополнением к уже имеющейся радиоаппаратуре, другие же — функционально независимы и размещаются в любом подходящем по размеру корпусе.

Один из разделов книги посвящен охранным устройствам и средствам безопасности, в котором приведенные простые конструкции способны помочь обеспечить сохранность вашего имущества и личную безопасность. Вы также познакомитесь с источниками питания и зарядными устройствами, разными домашними автоматами, приставками к телефону и др.

Многие из описанных устройств отечественная промышленность не выпускает, или же стоят они неоправданно дорого. Большинство из приводимых схем ранее не публиковалось и отражает многолетний опыт автора по разработке бытовых радиоэлектронных устройств.

В конце книги есть справочные материалы по маркировке интегральных стабилизаторов, а также расположению выводов у радиоэлементов примененных в описываемых конструкциях. Это позволит при сборке схем не искать справочники — вся основная необходимая информация будет у вас под рукой.

Книга может быть полезна как начинающим радиолюбителям, так и студентам радиотехнических вузов.

Книга 2 является продолжением предыдущей. Дается обзор выполнения типовых узлов схем на МОП и КМОП логических микросхемах (серий 176, 561, 1561) с методикой их упрощенного расчета. Показанные на рисунках диаграммы напряжений позволяют легче понять происходящие процессы и избавят от грубых ошибок при разработке устройств. В книге также опубликованы практические схемы, работающие в режиме микротоков: от универсальной модульной системы охраны и противоугонных устройств, до различных бытовых приставок и автоматов, например схема устройства для дистанционного управления освещением с помощью любого пульта на ИК-лучах (от телевизора или видеомагнитофона).

Отдельный раздел посвящен блокам питания, где приведены схемы простых импульсных источников питания и преобразователя напряжения с 12 В на 220 В — 50 Гц.

Многие схемы содержат оригинальные технические решения, которые позволяют уменьшить число применяемых деталей или улучшить технические параметры. Все конструкции собраны на современной элементной базе и имеют подробное описание методики изготовления и настройки.

В конце книги дана справочная информация по маркировке и замене универсальных импортных микросхем (логических, операционных усилителей и компараторов) отечественными аналогами. Она будет полезна при ремонте импортной радиоаппаратуры и промышленного оборудования, а также при повторении схем из иностранной литературы.

Книга 3 продолжает серию. Тематика ее затрагивает широкий круг вопросов: домашние автоматические устройства, простые приставки к телефону и компьютеру, охранные устройства, стабилизированные источники питания и многое другое. Кроме подробного описания принципа работы и методики настройки, к большинству схем дается топология печатной платы в масштабе 1:1, что облегчит их изготовление. Имеется также справочный раздел.

Книга 4. Приведены практические схемы различных устройств, которые могут быть полезны дома. Все они выполнены на доступных элементах и легко могут быть изготовлены самостоятельно. При этом не потребуется применять дорогостоящее оборудование и сложные промышленные технологии. Ко многим схемам дается топология печатной платы в масштабе 1:1.

Отдельный раздел посвящен радиотехническим ресурсам, имеющимся в Internet. Этот путеводитель будет интересен всем, кто увлекается радиоэлектроникой.

В книге представлены материалы из разных областей радиотехники, она рассчитана на широкий круг читателей, знакомых с основами радиоэлектроники и работой цифровых устройств.

Книга 5. Так же как и в предыдущих книгах, приведены практические схемы, которые можно легко собрать в домашних условиях. Подробно описан принцип работы и дана вся необходимая информация для изготовления. Большинство устройств выполнены на доступных элементах и просты в настройке. Все они могут принести немало пользы.

Один из разделов полностью посвящен современным способам выполнения быстродействующей защиты радиоаппаратуры от воздействия импульсных помех и перегрузок, которые чаще всего и являются причиной появления различных неисправностей.

В книгу также включен обзор по техническим характеристикам и особенностям применения популярных среди радиолюбителей и радиоинженеров аналоговых таймеров из серии 555. Материалы рассчитаны на широкий круг читателей, знакомых с основами электро- и радиотехники и радиолюбителей, занимающихся самостоятельным конструированием электронных устройств.

7. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. Книга 1. — М.: СОЛОН-Р. 2001.

Доступно объясняет принцип работы всех основных типов импульсных источников питания и преобразователей энергии. Дается методика их расчета и подробно описаны секреты изготовления. Рассматриваются особенности применения современной элементной базы: мощных полевых транзисторов MOSFET, IGBT, диодов Шоттки и HEXFRED, защитных диодов TRANSIL и др. Кроме полезных практических советов, приведен ряд конструкций им-

пульсных источников питания. Книга будет полезна не только радиолюбителям, студентам радиотехнических вузов, но и молодым специалистам-разработчикам.

8. Семенов Б. Ю. Современный тюнер своими руками: УКВ стерео + микроконтроллер. Книга 2. — М.: СОЛОН-Р. 2001.

В последние годы широкое распространение получило высококачественное стереофоническое вещание в УКВ диапазоне. Цель этой книги заключается в желании автора помочь радиолюбителю освоить стереофонический УКВ радиоприем, сконструировать приемник для дома, работы, садового участка. Но самое главное — создать современный УКВ радиоприемник с цифровой настройкой и управлением на базе несложного отечественного однокристального программируемого микроконтроллера.

Приведено много практических схем тюнеров и стереодекодеров разной степени сложности.

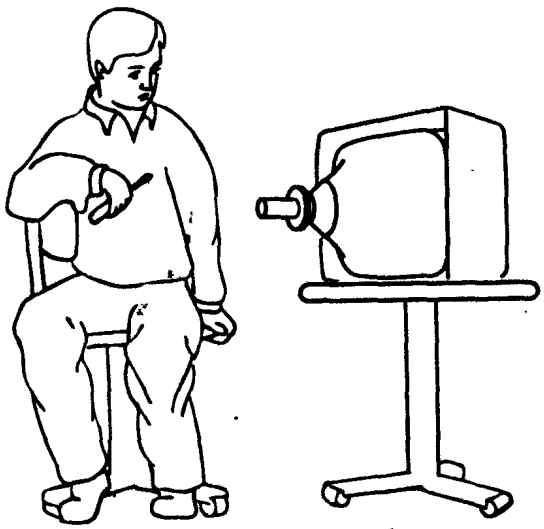
Книга будет полезна радиолюбителям, специалистам-ремонтникам, студентам вузов, обучающихся по специальности «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры», и всем интересующимся вопросами радиоприемной техники.

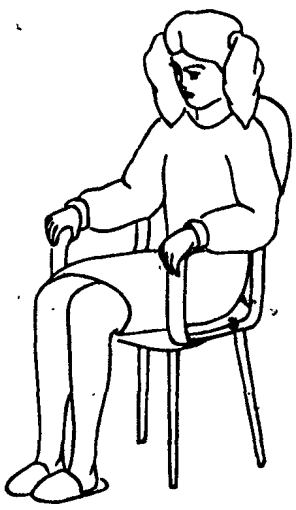
9. Семенов Б. Ю. Шина I^2C в радиотехнических конструкциях. Книга 3. — М.: СОЛОН-Р. 2002.

Рассказывается о принципах построения и логике работы последовательной шины обмена данными (I^2C), разработанной фирмой Phillips. Приводятся сведения о микросхемах, имеющих интерфейс I^2C, а также несложные конструкции на их основе, доступные для повторения радиолюбителями.

Сегодня большинство современной радиоаппаратуры содержит микроконтроллеры, которые обеспечивают управление всеми настройками и режимами при помощи такой шины.

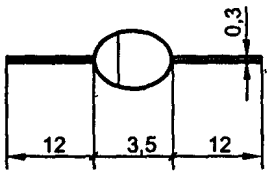
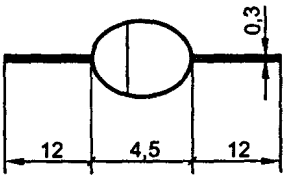
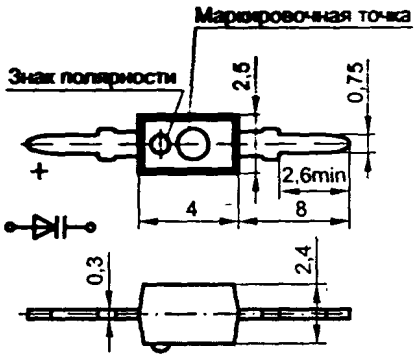
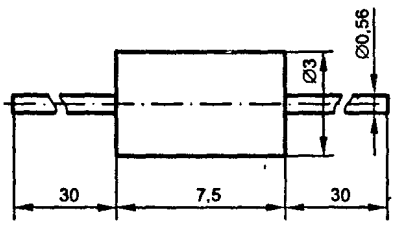
Книга может быть полезна радиолюбителям, инженерам, студентам радиотехнических специальностей вузов и специалистам-ремонтникам бытовой аппаратуры. ■

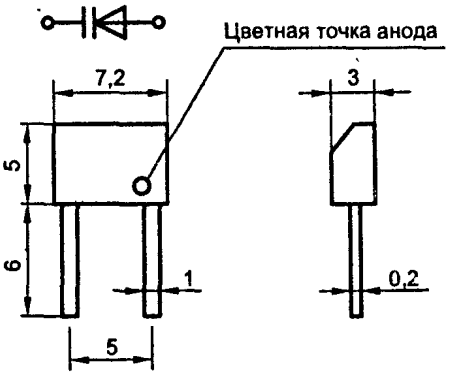
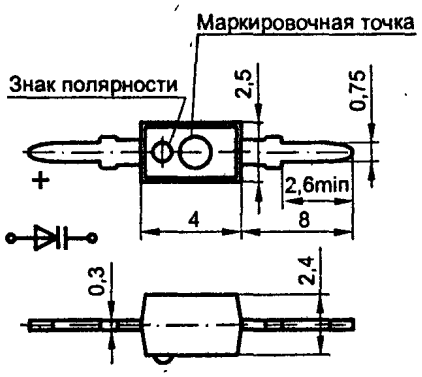
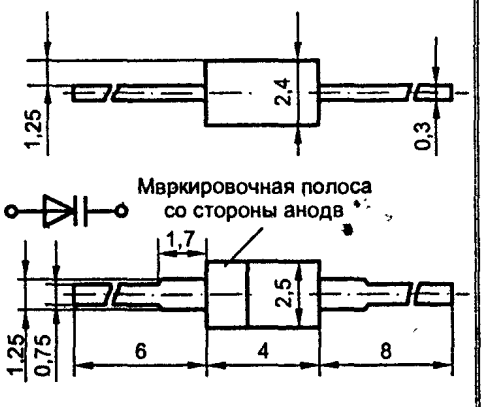




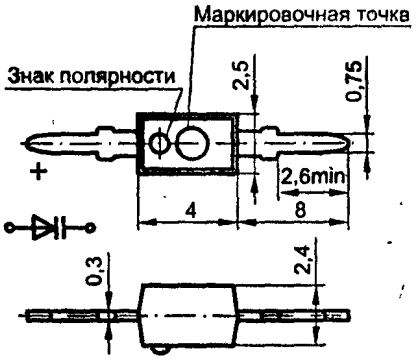
Справочная информация

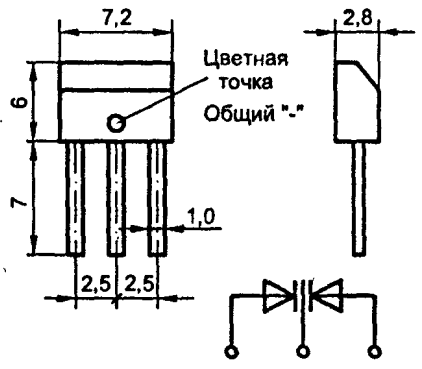
Параметры и маркировка варикапов

Тип	Диапазон изменения емкости, пФ	Добротность, Q	Максимальное обратное напряжение, В	Маркировка (цвет точки у анода)	Внешний вид
КВ102А	14...23	40	45	(белая)	
КВ102Б КВ102Г	19...30	100	45		
КВ102В	25...40	40	45		
КВ102Д	19...30	40	80		
КВ104А	90...120	100	45	(оранж.)	
КВ104Б	106...144	100	45		
КВ104В	128...192	100	45		
КВ104Г	95...143	100	80		
КВ104Д	128...192	100	80		
КВ104Е	95...143	150	45		
КВ109А	2,3...2,8	300	25	(белая)	
КВ109Б	2,0...2,3	300	25	(красн.)	
КВ109В	8,0...16,0	160	25	(зелен.)	
КВ109Г	8,0...17,0	160	25	—	
КВ110А КВ110Г	12,0...18,0	300	45	—	
КВ110Б КВ110Д	14,4...21,6	300	45		
КВ110В КВ110Е	17,6...26,4	150	45		

Тип	Диапазон изменения емкости, пФ	Добротность, Q	Максимальное обратное напряжение, В	Маркировка (цвет точки у анода)	Внешний вид
КВ113А	54,4...81,6	300	150	(белая)	
2В113А	54,4...81,6	300	150	(желтая)	
КВ113Б	54,4...81,6	300	115	(оранж.)	
2В113Б	54,4...81,6	300	115	(зеленая)	
КВ121А КВ121АГ, АТ	4,3...6	200	30	(синяя)	
КВ121Б	4,3...6	150	30	(желтая)	
КВ122А КВ122АГ, АТ	2,3...2,8	450	25	(оранж.)	
КВ122Б	2,0...2,3	450	30	(фиолето-вая)	
КВ122В	1,9...3,1	300	30	(коричн.)	
КВ123А	2,6...3,8	250	28	белая	

Тип	Диапазон изменения емкости, пФ	Добротность, Q	Максимальное обратное напряжение, В	Маркировка (цветная точка у анода)	Внешний вид
2В124А	27	300	30	(зеленая у анода)	
2В124Б	10	300	30	—	
2В124В	8	300	30	(белая у анода)	
КВ127А	230...260	140	32	белая поверхность	
КВ127Б	230...260	140	32	красная поверхность	
КВ127В	260...320	140	32	желтая поверхность	
КВ127Г	260...320	140	32	зеленая поверхность	
КВ132А	26,4...39,6	300	12	(белая)	
КВ138А	14...18	200	12	—	
КВ138Б	17...21	200	12	—	
КВ142А	230...260	300	32	(белая)	
КВ142Б	250...320	300	32	(красная)	
КВС111А	29,7...36,3	200	30	(белая)	
КВС111Б	29,7...36,3	150	30	(оранж.)	



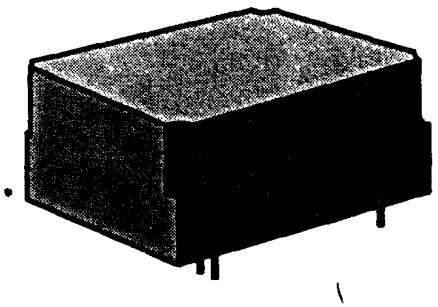


Примечание

Элементы с обозначением КВС являются сборкой, которая содержит два идентичных варикапа, соединенных внутри.

Малогабаритные стандартные сетевые трансформаторы

Трансформаторы ТП-4



Трансформаторы питания от сети 110/220 В, 50 Гц, стержневой конструкции, герметизированные для печатного монтажа.

Гарантийная наработка – 10000 ч в пределах гарантийного срока эксплуатации.

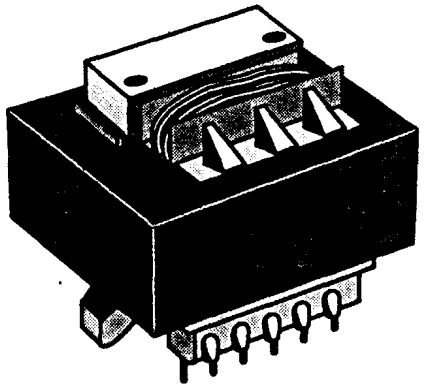
Гарантийный срок эксплуатации 6 лет.

Электрическая прочность изоляции между обмотками: первичная – вторичная 4000 В.

Тип	Напряжение вторичных обмоток, В			Ток нагрузки, А	Масса, г	Высота, мм
	обозначение выводов	холостой ход, +5%	номинальная нагрузка			
ТП 4-4	11-13 18-20	5	4,1	1,3	450	32
ТП 4-5	11-13 18-20	5,9	4,7	1,2	450	32
ТП 4-6	11-13 18-20	7,8	5,8	1,5	600	42
ТП 4-6М	11-13 18-20	7,1	6,0	1,0	450	32
ТП 4-7	11-13 18-20	8,3	7,0	1,0	450	32
ТП 4-8	11-13 18-20	8,6	7,8	0,5	450	32
ТП 4-9	11-13 18-20	10,5	9,0	1,0	450	32
ТП 4-10	11-13 18-20 12-15 16-19	11,8 11,8 2,8 2,8	10,0 10,0 2,6 2,6	0,3 0,3 0,1 0,1	450	32
ТП 4-11	11-13 18-20	11,0	9,5	0,55	450	32
ТП 4-12	11-13 18-20	7,5	6,0	1,5	450	32

Тип	Напряжение вторичных обмоток, В			Ток нагрузки, А	Масса, г	Высота, мм
	обозначение выводов	холостой ход, ±5%	номинальная нагрузка			
ТП 4-13	11-13 18-20 12-15 16-19	15,0 15,0 5,8 5,8	6,5 6,5 5,0 5,0	1,0 1,0 0,2 0,2	450	32
ТП 4-5-14	11-13 18-20 12-15 16-19	6,0 6,0 15,0 15,0	5,5 5,5 13,5 13,5	0,5 0,5 0,1 0,1	450	32
ТП 4-9-14	11-13 18-20 12-15 16-19	10,5 10,5 15,0 15,0	8,5 8,5 13,5 13,5	1,0 1,0 0,05 0,05	450	32
ТП 4-15	11-13 12-15 16-19 18-20	7,5 20,0 20,0 11,5	6,0 15,0 15,0 9,0	0,8 0,07 0,07 0,8	450	32
ТП 4-16	11-13 12-15 16-19 18-20	120,0 36,0 13,0 13,0	100,0 33,0 11,0 11,0	0,05 0,05 0,2 0,4	450	32
ТП 4-17	11-13 18-20	13,5	11,0	1,5	550	42
ТП 4-18	11-13 18-20	42,0	36,0	0,4	550	42
ТП 4-19 ТП4-19М	11-13 18-20 12-15 16-19	13,7 13,7 13,5 13,5	12,0	0,24 0,24 0,17 0,17	450	32
ТП 4-20	11-13 18-20	22,5	20,0	0,25	450	32
ТП 4-20М	11-13 18-20 12-15 16-19	23,6 23,6 6,6 6,6	20,0 20,0 5,5 5,5	0,25	450	32
ТП 4-21	11-12 13-15 19-20	47,0	40,0	0,095 0,080 0,165	450	32
ТП 4-22	11-12 13-15 16-18 19-20	25,0	23,0	0,16	450	32

Трансформаторы ТП-5



Трансформаторы питания от сети 220 В, 50 Гц для устройств печатного монтажа.

Гарантийная наработка – 10000 ч.

Гарантийный срок эксплуатации 6 лет.

Электрическая прочность изоляции между обмотками:

первичная – вторичная 4000 В;

вторичная – вторичная 500 В.

Тип	Напряжение вторичное, В, +5%	Ток нагрузки, А	Ток х.х. не более, А	Высота, мм	Масса не более, г	Габаритные размеры, мм
ТП-5-1	2×5,0	0,27	0,015	36	220	35,5×42,5×36
ТП-5-2	2×6,5	0,30	0,015	40	240	35,5×42,5×40
ТП-5-3	2×8,7	0,20	0,015	40	240	35,5×42,5×40
ТП-5-4	10 11 2,4	0,22 0,03 0,065	0,015	36	220	35,5×42,5×36
ТП-5-5	2×16,5 2×5,0	0,025 0,005	0,009	36	220	35,5×42,5×36
ТП-5-5М	2×6,5 2×5,0	0,025 0,005	0,009	36	220	35,5×42,5×36
ТП-5-6	2×5,6	0,30	0,015	36	220	35,5×42,5×36
ТП-5-7	2×5,0	0,50	0,015	40	240	35,5×42,5×40
ТП-5-8	12	0,40	0,015	40	240	35,5×42,5×40
ТП-5-9	2×6	0,20	0,015	31	150	35,5×42,5×31
ТП-5-10	12	0,40	0,015	30,5	160	35,5×42,5×30,5
ТП-5-10К	9	0,23	0,015	31	190	38,0×45,0×31
ТП-5-11	11	0,10	0,012	29,5	90	28,5×32,5×29,5
ТП-5-12	2×5,8	0,10	0,006	29,5	90	28,5×32,5×29,5
ТП-5-13	8	0,10	0,012	29,5	90	28,5×32,5×29,5
ТП-5-14	5	0,20	0,015	29,5	90	28,5×32,5×29,5
ТП-5-15	22 40	0,03 0,025	0,015	36	200	35,5×42,5×36
ТП-5-16	10 10	0,02 0,15	0,006	29,5	90	28,5×32,5×29,5

Трансформаторы ТП-112, ТП-114, ТП-115, ТП-121, ТП-321, ТПК-2

Трансформаторы предназначены для использования в аппаратуре и приборах, работающих от сети переменного тока, частотой 50–60 Гц и напряжением 220 В с отклонением не более +10% от номинального значения.

Позволяют выполнять монтаж прямо на печатную плату. Применение в конструкции изделий полиамидных стеклонаполненных пластмасс для изготовления каркасов, синтетических изоляционных пленок для межобмоточной изоляции, эмалированных медных проводов марки ПЭТВ (ПЭТВЛ, ПЭТ) обеспечивают надежную работу трансформаторов при максимальной температуре нагрева до 125 °С.

Электрическая прочность изоляции между обмотками:

первичная – вторичная 6000 В;

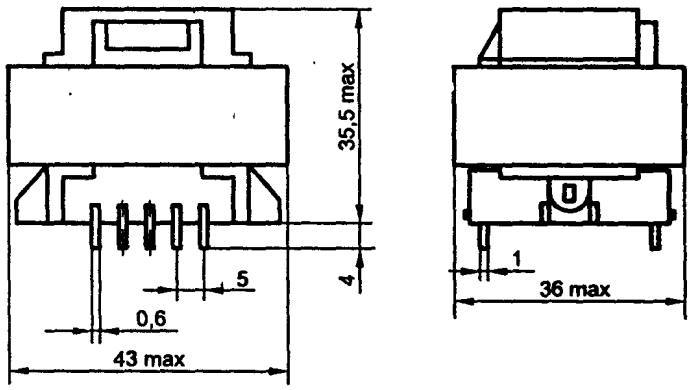
вторичная – вторичная 600 В.

Трансформатор ТП-112

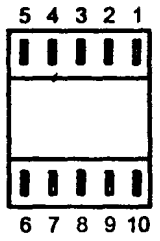
Масса не более 0,24 кг.

Ток холостого хода не более 0,03 А.

Номинальная выходная мощность 7,2 ВА.



Габаритные размеры



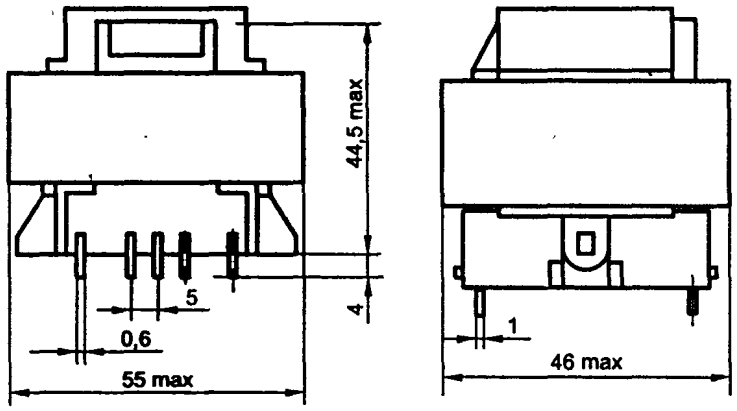
Расположение выводов

Тип	Номера выводов вторичных обмоток	Напряжение вторичных обмоток, В		Ток номинальной нагрузки, А
		в режиме холостого хода	в режиме номинальной нагрузки	
ТП-112-1	7-9	7,9	6,0	1,20
ТП-112-2	7-8	10,7	8,0	0,35
	9-10	17,3	12,5	0,35
ТП-112-3	9-10	11,0	8,5	0,84

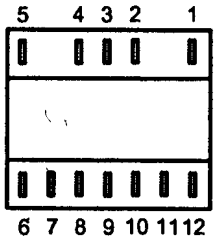
Тип	Номера выводов вторичных обмоток	Напряжение вторичных обмоток, В		Ток номинальной нагрузки, А
		в режиме холостого хода	в режиме номинальной нагрузки	
ТП-112-4	8-9	9,9	7,1	0,39
	9-10	9,9	7,1	0,39
	7-6	7,8	6,0	0,27
ТП-112-5	9-10	11,8	9,0	0,80
ТП-112-6	9-10	14,3	10,6	0,68
ТП-112-7	9-10	15,2	11,8	0,61
ТП-112-8	7-8	16,8	12,5	0,51
	9-10	6,6	4,75	0,15
ТП-112-9	7-8	15,5	12,5	0,1
	9-10	24,4	17,0	0,35
ТП-112-10	7-8	18,1	14,0	0,25
	9-10	18,5	14,0	0,25
ТП-112-11	7-8	19,1	15,0	0,24
	9-10	19,5	15,0	0,24
ТП-112-12	9-10	21,4	16,0	0,45
ТП-112-13	9-10	23,5	18,0	0,4
ТП-112-14	7-8	23,0	18,0	0,2
	9-10	23,5	18,0	0,2
ТП-112-15	9-10	27,5	21,2	0,34
ТП-112-16	9-10	30,3	23,6	0,3
ТП-112-17	8-9	16,1	11,8	0,3
	9-10	16,2	11,8	0,3
ТП-112-18	9-10	16,0	12,5	0,57
ТП-112-19	7-8	11,2	9,0	0,4
	9-10	11,2	9,0	0,4

Трансформатор ТП-114

Масса не более 0,38 кг.
Ток холостого хода не более 0,04 А.
Номинальная выходная мощность 13,2 ВА.



Габаритные размеры

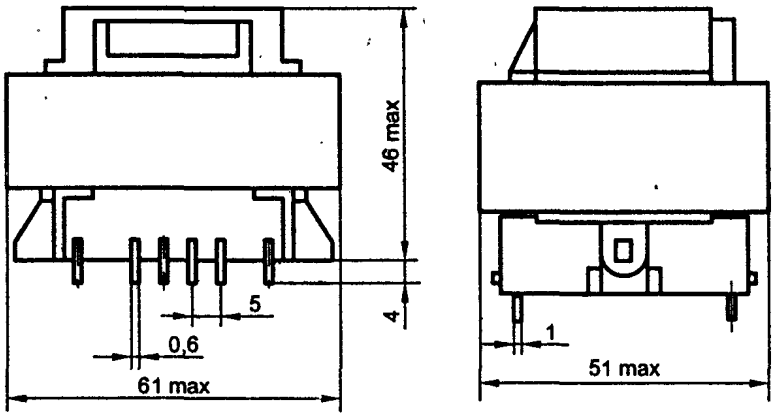


Расположение выводов

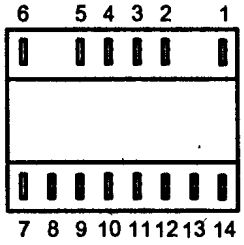
Тип	Номера выводов вторичных обмоток	Напряжение вторичных обмоток, В		Ток номинальной нагрузки, А
		в режиме холостого хода	в режиме номинальной нагрузки	
ТП-114-1	11-12	7,8	6,3	2,1
ТП-114-2	11-12	11,1	9,0	1,47
ТП-114-3	11-12	13,0	10,6	1,25
ТП-114-4	11-12	13,8	11,2	1,18
ТП-114-5	11-12	14,4	11,8	1,12
ТП-114-6	11-12	9,4	8,0	1,65
ТП-114-7	11-12	16,5	13,2	1,0
ТП-114-8	9-10	18,3	15,0	0,44
	11-12	18,6	15,0	0,44
ТП-114-9	11-12	23,1	18,0	0,73
ТП-114-10	11-12	25,5	21,2	0,62
ТП-114-11	11-12	29,1	23,6	0,56
ТП-114-12	11-12	19,4	16,0	0,82

Трансформатор ТП-115

Масса не более 0,38 кг.
Ток холостого хода не более 0,05 А.
Номинальная выходная мощность 19,5 ВА.



Габаритные размеры



Расположение выводов

Тип	Номера выводов вторичных обмоток	Напряжение вторичных обмоток, В		Ток номинальной нагрузки, А
		в режиме холостого хода	в режиме номинальной нагрузки	
ТП-115-1	13-14	7,0	6,0	3,25
ТП-115-2	13-14	9,3	8,0	2,44
ТП-115-3	13-14	10,4	9,0	2,17
ТП-115-4	12-13	11,6	10,0	0,98
	13-14	11,7	10,0	0,98
ТП-115-5	13-14	12,5	10,6	1,84
ТП-115-6	13-14	13,0	11,2	1,74
ТП-115-7	13-14	13,6	11,8	1,65
ТП-115-8	13-14	13,8	11,8	0,75
	11-12	8,8	7,5	1,42
ТП-115-9	13-14	14,5	12,5	1,56
ТП-115-10	11-12	17,3	15,0	0,65
	13-14	17,6	15,0	0,65

Тип	Номера выводов вторичных обмоток	Напряжение вторичных обмоток, В		Ток номинальной нагрузки, А
		в режиме холостого хода	в режиме номинальной нагрузки	
ТП-121-3	7-8	19,2	12,5	0,32
	9-10	7,6	5,6	0,05
ТП-121-4	9-10	16,4	11,2	0,4
ТП-121-5	8-9	16,5	11,2	0,2
	9-10	16,8	11,2	0,2
ТП-121-6	9-10	17,6	11,8	0,38
ТП-121-7	9-10	18,6	12,5	0,36
ТП-121-8	9-10	22,3	15,0	0,3
ТП-121-9	7-8	21,5	15,0	0,15
	9-10	22,5	15,0	0,15
ТП-121-10	9-10	24,6	17,0	0,27
ТП-121-11	9-10	27,0	18,0	0,25
ТП-121-12	9-10	30,0	21,2	0,21
ТП-121-13	9-10	32,7	23,6	0,19
ТП-121-14	9-10	2,85	2,0	0,17
	8-9	2,9	2,0	0,17
	6-7	31,2	21,2	0,18
ТП-121-15	9-10	2,15	1,6	0,1
	8-9	2,2	1,6	0,1
	6-7	45,4	30,0	0,14
ТП-121-16	7-8	13,0	9,0	0,25
	9-10	13,6	9,0	0,25
ТП-121-17	9-10	13,6	9,0	0,5
ТП-121-18	9-10	14,4	9,5	0,47

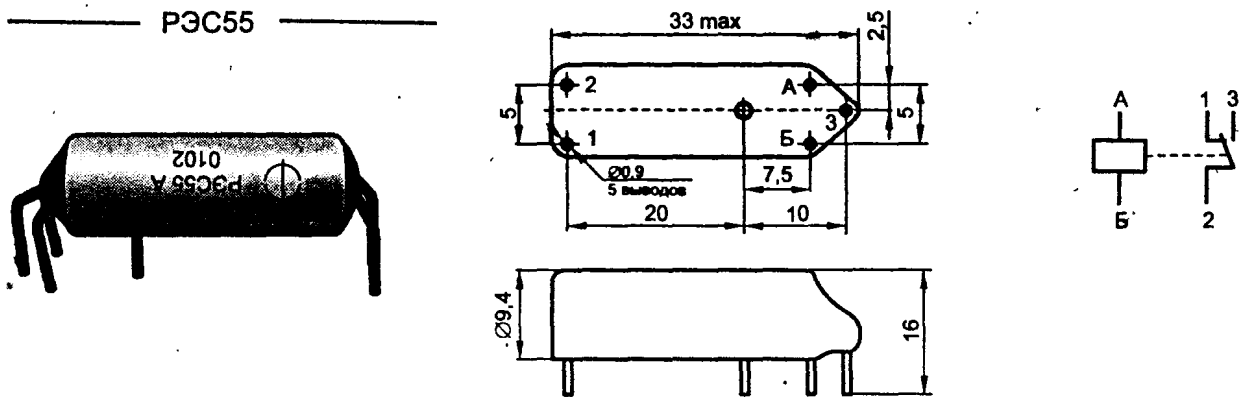
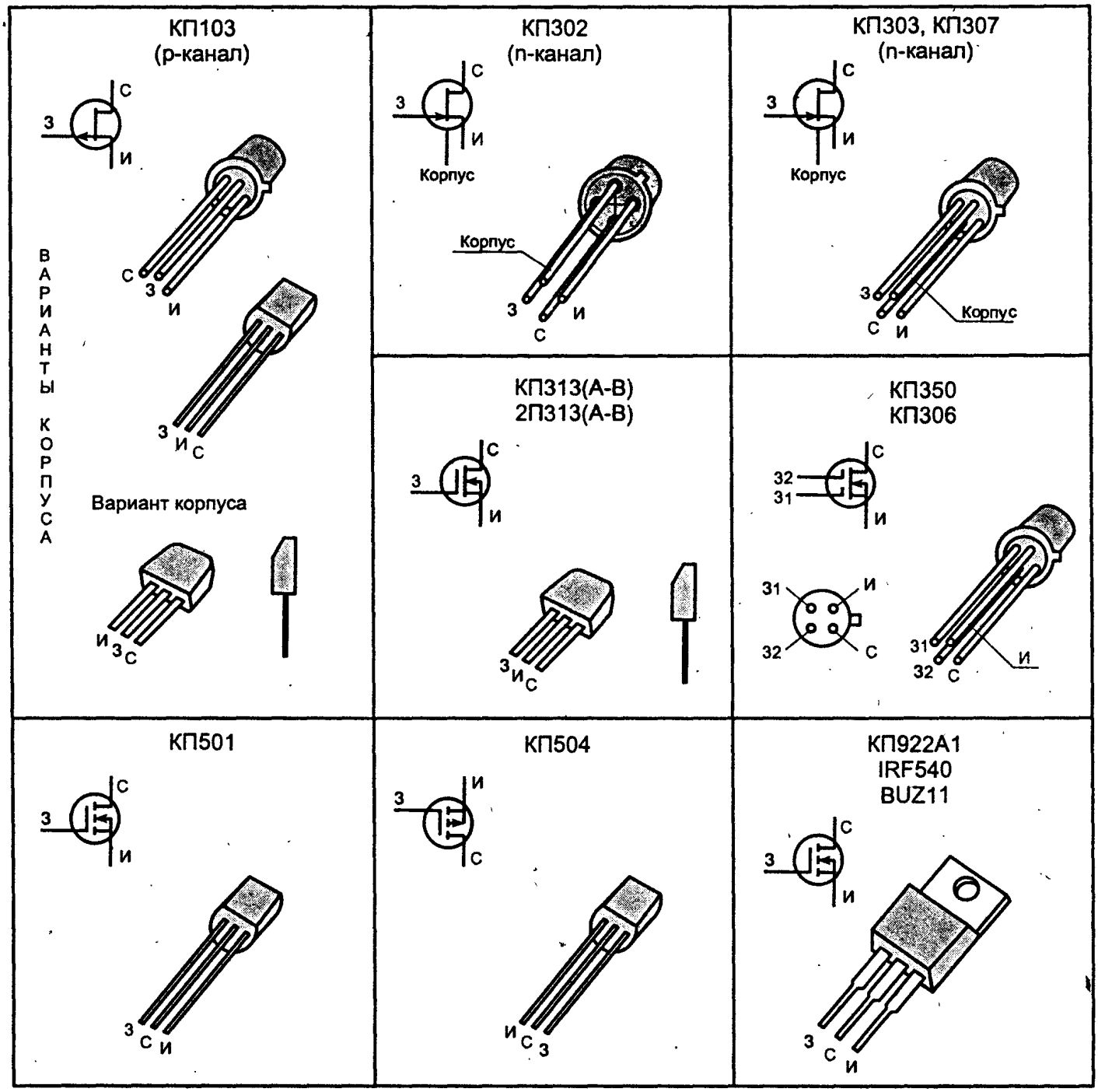


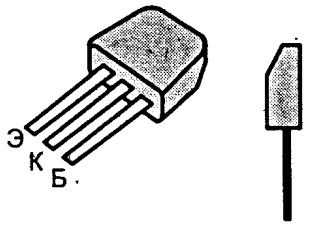
Рис. 2. Конструктивные особенности и электрическая схема реле РЭС55

Расположение выводов у полевых транзисторов

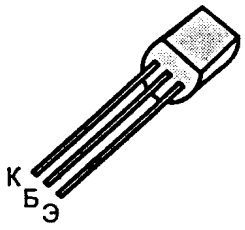


Расположение выводов у биполярных транзисторов

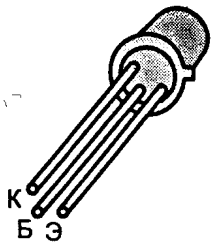
КТ315 (n-p-n)
(буква группы сбоку)
КТ361 (p-n-p)
(буква группы по центру)



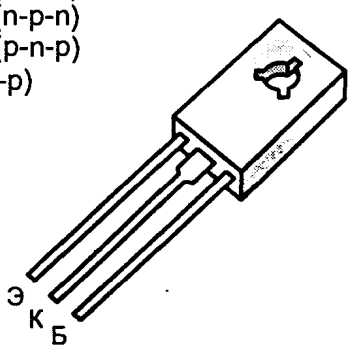
КТ3117, КТ503 (n-p-n)
КТ368(АМ, БМ) (n-p-n)
КТ3102(АМ–ЕМ) (n-p-n)
КТ3107, КТ502 (p-n-p)
КТ316(АМ–ВМ) (n-p-n)



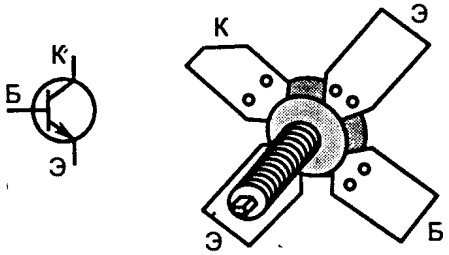
КТ3102(А–Е) (n-p-n)
КТ368(А, Б) (n-p-n)
КТ3108 (p-n-p)



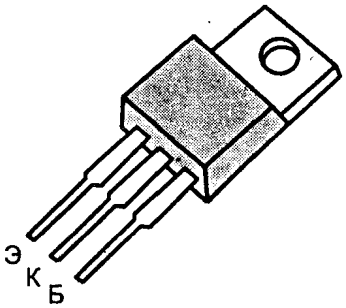
КТ972, КТ940 (n-p-n)
КТ815, КТ817 (n-p-n)
КТ814, КТ816 (p-n-p)
КТ973 (p-n-p)



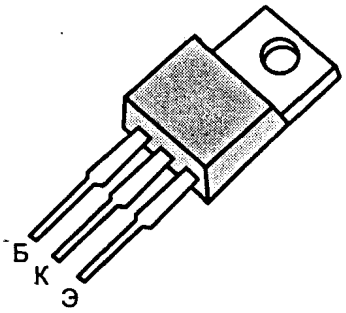
КТ920, 2Т920 (n-p-n)
КТ922, 2Т922 (n-p-n)



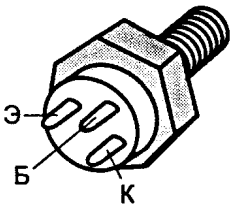
КТ805, КТ819(А–Г) (n-p-n)
КТ835, КТ837 (p-n-p)
КТ818(А–Г) (p-n-p)



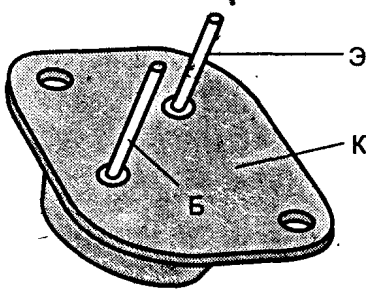
КТ829, КТ850 (n-p-n)
КТ825(А2–Б2) (p-n-p)



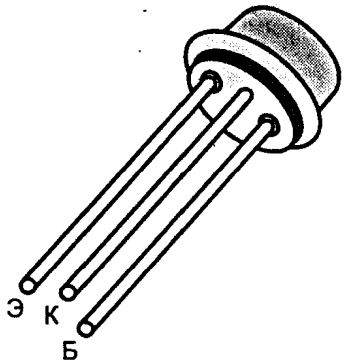
КТ904 (n-p-n)
2Т904 (n-p-n)
КТ907 (n-p-n)



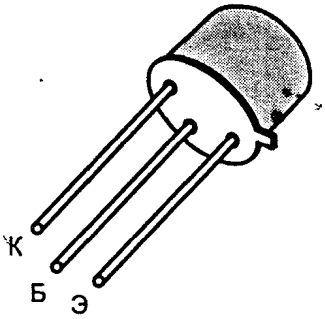
КТ819(АМ–ГМ) (n-p-n)
КТ818(АМ–ГМ) (p-n-p)
КТ825(А–Г) (p-n-p)
КТ827(А–В) (n-p-n)
КТ828(А–В) (n-p-n)

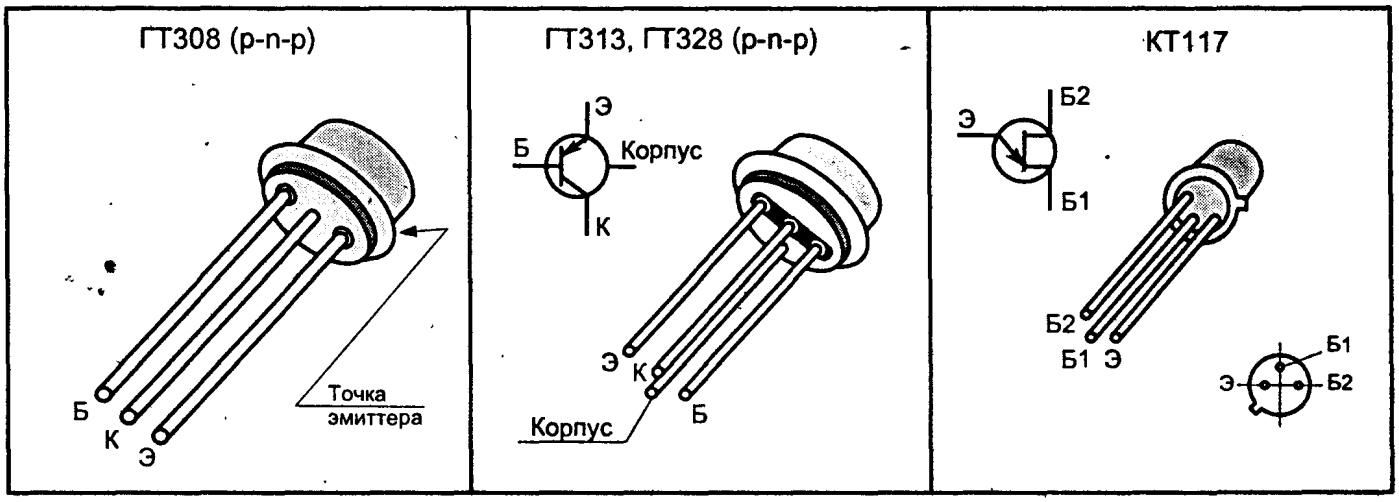


КТ608 (n-p-n)
КТ603 (n-p-n)



КТ630, КТ635 (n-p-n)

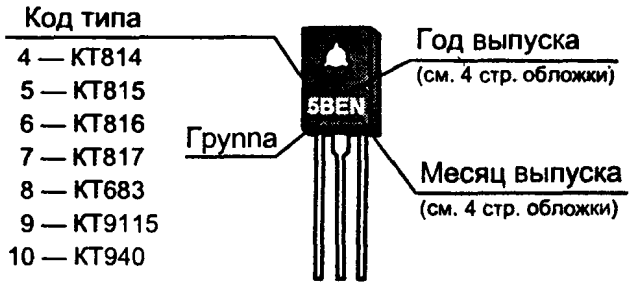




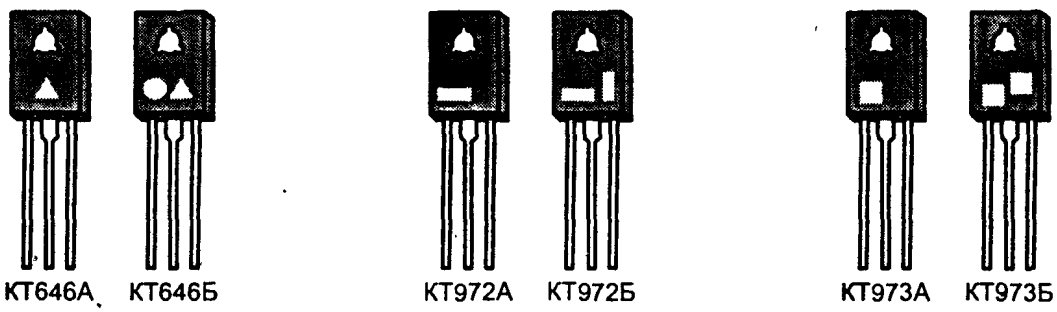
Особенности кодовой маркировки транзисторов

Варианты кодовой маркировки транзисторов в корпусе КТ-26 приведены на последней странице обложки. Транзисторы в корпусе КТ-27 могут маркироваться буквенно-цифровым кодом, геометрическими фигурами или окрашиванием торца корпуса:

КТ814 — серый;
КТ815 — белый;
КТ816 — малиновый;
КТ817 — светло-зеленый или голубой
КТ9115 — голубой
КТ683 — фиолетовый

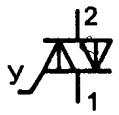


Маркировка геометрическими фигурами

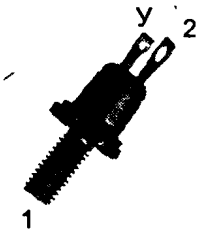


Расположение выводов и основные параметры симисторов и тиристоров

Симисторы

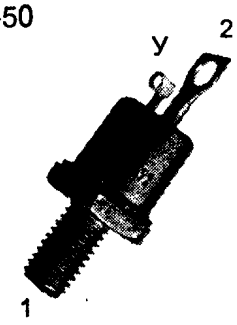


ТС112-10
ТС112-16

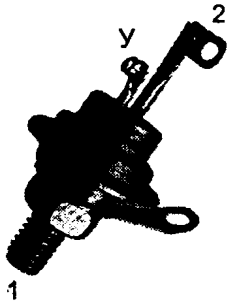


ТС122-20
ТС122-25

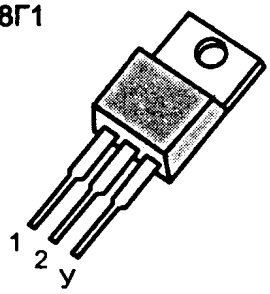
ТС132-40
ТС132-50



КУ208



ТС106-10
ТС106-16
КУ208Г1



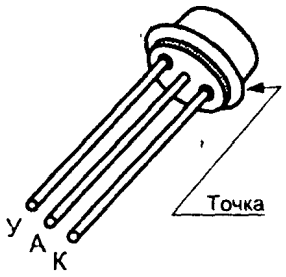
Параметры	Тип симисторов								
	КУ208	ТС106-10	ТС106-16	ТС112-10	ТС112-16	ТС122-20	ТС122-25	ТС132-40	ТС132-50
Макс. ток открытого симистора (действующ. значение), А	5	10	16	10	16	20	25	40	50
Ток удержания, не более, мА	150	45	45	45	45	45	45	60	60
Открывающ. ток управления, не более, А – при +25 ±10 °С –50 °С	 0,16 0,25	 0,1 0,23	 0,1 0,23	 0,1 0,45	 0,1 0,48	 0,15 0,48	 0,15 0,48	 0,2 0,48	 0,2 0,3
Предельная частота, Гц	400	500	500	500	500	500	500	500	500
Рабочий интервал температуры корпуса, °С	-60... +85	-50... +110	-50... +110	-60... +125	-60... +125	-60... +125	-60... +125	-60... +125	-60... +125

Маркировка большинства современных симисторов состоит из букв ТС (тиристор симметричный) и цифр, означающих: первая — порядковый номер модификации, вторая — в кодированном виде размер «под ключ» шестигранника фланца, третья — обозначение конструктивного исполнения корпуса. Далее через дефис следует число, указывающее в амперах максимально допустимый ток в открытом состоянии. Затем через дефис указывают число, означающее класс прибора по повторяющемуся импульсному напряжению в закрытом состоянии, и еще через дефис — группу по критической скорости увеличения коммутационного напряжения. Рядом с маркировкой размещают дату изготовления прибора (месяц и год) и товарный знак предприятия-изготовителя.

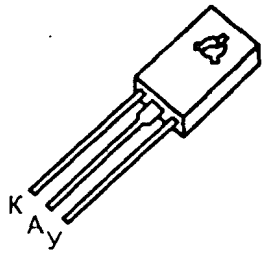
Классов по повторяющемуся импульсному напряжению предусмотрено 12: класс 1 — 100 В; 2 — 200 В; 12 — 1200 В. Для симисторов КУ208 последняя буква в обозначении указывает максимально допустимое рабочее напряжение: А — 100 В; Б — 200 В; В — 300 В; Г — 400 В.

Тиристоры

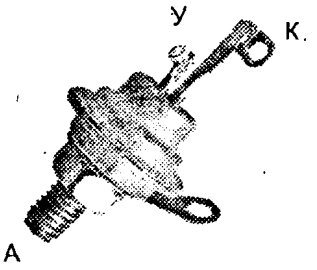
КУ101
КУ103



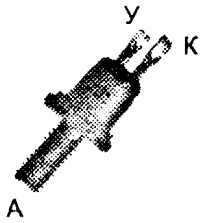
КУ112А



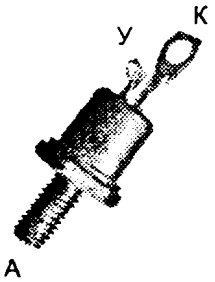
КУ201
КУ202, КУ204



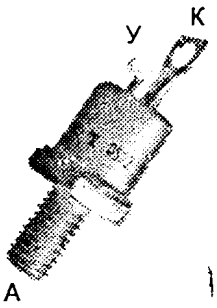
Т112-10
Т112-16



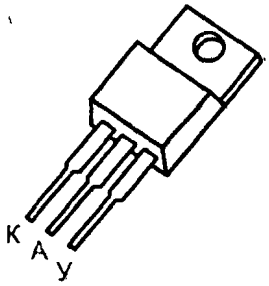
Т122-20
Т122-25



Т132-40
Т132-50



Т106-10
Т106-16



Полную информацию о параметрах тиристоров можно найти в справочниках или Интернет по адресу:

http://www.chipinfo.ru/dsheets/thyristors

Оглавление книги 1

Зачем нужна эта книга

Глава 1. Электричество в мире вокруг нас

- Электрическая энергия в природе
- Электростатика — наш друг или враг?
- Нет жизни без электричества
- Получаем постоянный электрический ток
- Выполняемая электричеством работа
- Связь электричества и магнетизма
- Законы для постоянного тока
- Интересные страницы истории
- Первые практические конструкции
  - Светодиодный фонарик
  - Индикатор биоэнергии человека

Глава 2. Секреты взаимного превращения энергий

- Как получить переменный ток
- Трансформатор и его изобретатели
- Характеристики переменного тока
- Переменный ток превращаем в постоянный
- Электроэнергия от Солнца и других источников
- Немного истории
- Практические конструкции
  - Индикаторы сетевого напряжения
  - Получение «живой» и «мертвой» воды

Глава 3. Знакомство с радиоэлементами

- Проводники, полупроводники и диэлектрики
  - Кто такие проводники
  - Что необходимо знать о диэлектриках
  - Полупроводники — особый класс веществ
- Пассивные и активные компоненты
  - Резисторы
  - Конденсаторы
  - Трансформаторы
  - Катушки индуктивности
  - Диоды, стабилитроны, варикапы, светодиоды, фотодиоды и экзотика
  - Коммутационные элементы и предохранители
- Системы маркировки или Как понять назначение элемента
  - Маркировка резисторов
  - Маркировка конденсаторов
  - Маркировка индуктивностей
  - Маркировка полупроводников
- Язык для электрических схем
- Практический опыт
  - Как правильно выбрать провода для силовых цепей
  - Допустимый ток для монтажных проводов
  - Изготовление плавкого предохранителя

Глава 4. Чем бы все это измерить

- Простейшие измерительные приборы и их принцип работы
- Что необходимо приобрести в первую очередь
- Осциллограф — «электронный глаз» радиолюбителя
- Основные меры предосторожности, или О том, чего нельзя делать
- Простые вспомогательные приставки
  - Для контроля энергоемкости элементов питания
  - Для быстрого измерения температуры

Глава 5. Питание на любой вкус

- Какие бывают источники и чем отличаются
  - Выпрямители и фильтры
  - Линейные параметрические стабилизаторы

Линейные компенсационные стабилизаторы
Стабилизированные источники на основе микросхем
Популярные интегральные стабилизаторы
Стабилизаторы с уменьшенными потерями
Особенности маломощных стабилизаторов
Специализированные стабилизаторы
Стабилизаторы тока
Универсальные источники питания
С переключаемым выходным напряжением
С плавной регулировкой напряжения
Когда-нибудь, да пригодится...
Двухполярный источник — из однополярных
Двухполярный источник от одной обмотки
Друг за дружкой
Повышаем напряжение стабилизации
Управляемый стабилитрон

Глава 6. История технических изобретений

Этапы большого пути
Первой была радиолампа
Как изобрели биполярные транзисторы
Виды полевых транзисторов и их отличия
Что еще придумали для усиления сигналов
Виды электронных усилителей
Интересные страницы истории
Калейдоскоп схем на одном транзисторе
Электронные ключи
Датчик разрыва цепи
Реле времени
Сенсорные включатели
Индикатор электромагнитного поля
Датчик постоянного тока в цепи
Звуковой сигнализатор на пьезоизлучателе
Электромагнитный звуковой сигнализатор
Усилитель постоянного тока
Простейший звуковой усилитель
Активный внешний микрофон
Эмиттерный повторитель с повышенным входным сопротивлением
Вариант истокового повторителя
Усилитель для антенны

Глава 7. Телефонные штучки

История появления телефона
Современные линии и телефонные аппараты
Практические конструкции для дома
Индикатор занятой линии
Блокиратор для защиты от «пиратов»
Получение режима HOLD
Адаптер для записи разговора
Простое переговорное устройство
От прошлого к настоящему

Глава 8. Усиливаем сигналы

Логарифмический масштаб
Логарифмическая шкала
Спектр электрических сигналов
Наше восприятие звука
О простейших усилителях
Прохождение сигналов через RC-цепи
Особенности работы транзисторных схем
Подробно о повторителях
Термостабилизация простейших каскадов
Токовое зеркало
Дифференциальная схема
Каскодная схема
Комплиментарные схемы
Предварительные усилители
Простой усилитель на транзисторах
Звуковые усилители на микросхемах
Немного о типовых узлах радиоаппаратуры

Ламповый ренессанс?
Секреты высокого качества звука

Глава 9. О радиолюбительских технологиях

Виды существующих соединений элементов
Секреты пайки или о том, Как этому быстро научиться
Виды монтажных плат и их особенности
Макетная плата для соединения элементов без пайки
Изготовление печатной платы в домашних условиях
Разводка топологии
Сверление отверстий
Защитное покрытие токоведущих дорожек
Удаление лишней меди
Подготовка платы к монтажу
Безопасность при обращении с химикатами
Как сделать печатную плату без химии
Основные приемы монтажа радиодеталей
Изготовление корпусов для своих конструкций
Электробезопасность при выполнении работ

Справочная информация

Единицы измерения электрических параметров в системе СИ
Множители и приставки для образования производных единиц измерения
Стандартные ряды номиналов элементов
Параллельное включение резисторов и последовательное конденсаторов
Параметры отечественных и импортных диодов
Параметры распространенных светодиодов
Основные параметры стабилитронов и стабисторов
Интегральные аналоговые стабилизаторы
Стабилизаторы средней мощности на фиксированное напряжение
Маломощные стабилизаторы
Регулируемые стабилизаторы
Многоканальные стабилизаторы
Расположение выводов у распространенных транзисторов
Полевые транзисторы
Биполярные транзисторыЗачем нуж на эта книга

Содержание компакт-диска

К этой книге в качестве подарка прилагается компакт-диск с подборко справочной и исторической информации. Вы сможете познакомиться с виртуа льным музеем истории развития радиотехники. Всем, кто увлекается техничес ким творчеством, будут полезны радиотехнические вспомогательные и обуча ющие программы. А читателям, имеющим доступ к Интернету, пригодитс подборка ссылок на радиотехнические сетевые ресурсы. Тем, кто не хочет тра тить время на поиск технической документации, поможет соответствующи раздел. Чтобы вам было легче ориентироваться, здесь приведено краткое содер жание всех основных папок (более подробные пояснения вы найдете в главе 1 книги или в текстовых файлах readme на самом диске).

«Вспомогательные программы», — кроме уже описанных в главе 16, содержит многие другие полезные (или просто забавные) программные продукты различной тематики.

«Измерительные приборы из ПК» — содержит программы, при помощи которых можно превратить персональный компьютер в измерительную лабораторию радиолюбителя. Все они рассортированы по группам:

Анализаторы — перечень многофункциональных программ, превращающих компьютер в спектроанализатор, осциллограф, генератор сигналов;

Генераторы — программы генераторов сигналов различной формы;

Осциллографы — программы двухлучевых осциллографов, использующих левый и правый каналы sound-карты;

Частотомер — программа для измерения частоты сигналов;

Измерители — программы мультиметров.

«Исторический музей» — содержит html-сборник фотографий с поясняющими надписями, не вошедших в бумажный вариант книги. Фотографии рассортированы по темам, рассматриваемым в соответствующих главах. Для просмотра запустите файл index.htm, расположенный в данной папке, а также ознакомьтесь с содержанием файла readme, если у вас появятся вопросы.

«Книжная полка» — содержит материалы, которые окажутся нелишними для радиолюбителя не только в плане познавательном, но и в практической деятельности. Многие материалы заархивированы в самораспаковывающиеся архивы, поэтому достаточно скопировать соответствующий .exe-файл на жесткий диск и распаковать его, кликнув левой кнопкой мыши.

«Печатные платы» — содержит эскизы топологии печатных плат для некоторых конструкций, опубликованных в данной книге, в формате программы Sprint-Layot 3.0 (эта бесплатная программа на диске имеется). Для облегчения сборки представлены также большие цветные фотографии плат в собранном виде.

«Радиотехнические программы» — содержит множество полезных компьютерных программ, призванных автоматизировать или ускорить процесс создания своих радиотехнических конструкций.

Аналоговые таймеры — сборник программ, позволяющих ускорить выбор времязадающих элементов и исследовать работу аналоговых таймеров серии 555 (отечественный аналог КР1006ВИ1);

ВЧ цепи — программы для расчета различных фильтров и антенн;

Маркировка компонентов — программы, помогающие определить маркировку зарубежных и отечественных транзисторов, цветовую кодировку резисторов и конденсаторов, расшифровать обозначения на зарубежных принципиальных схемах;

Моделирование схем — программы для моделирования электронных схем (режимы по постоянному току, АЧХ, ФЧХ, временные характеристики). В них имеется большая библиотека готовых моделей электронных компонентов. Ряд программ предназначен для расчета акустических колонок различной степени сложности. Они рассчитывают не только электрические характеристики, но акустические и конструктивные параметры (размер и расположение излучателей, габариты ящиков и т. д.);

Обучающие программы — подборка для простых расчетов, связанных с электронными цепями. Они могут пригодиться для выработки навыков по дальнейшим быстрым вычислениям без помощи бумаги;

Провода и предохранители — программы для расчета самодельных предохранителей и выбора допустимых сечений для монтажных проводов.

Расчет R-L-C цепей — название папки говорит само за себя;

Расчет трансформаторов и дросселей — различные варианты, включая импульсные трансформаторы и дроссели, намотанные на резисторах;

Рисуем схему и плату — набор программ для облегчения разработки электрических схем, выполнения самодельных печатных плат и передних панелей приборов;

Цифровой мир — набор программ для работы с цифровой техникой.

«Ресурсы Интернет» — содержит огромное количество ссылок на радиолюбительские и профессиональные сайты по электронике в сети Интернет. Для установки в папку «Избранное» всей коллекции достаточно воспользоваться файлом install.exe. Выбрать необходимые ссылки, не устанавливая всю коллекцию, можно из папки «Коллекция ссылок». В папке semenov находится копия интернет-сайта одного из авторов этой книги Б. Ю. Семенова, записанная в объеме, существующем на момент выхода книги. Сайт постоянно обновляется и дополняется. Для просмотра необходимо запустить файл index.htm. Эта станица в Интернете находится по адресу http://www.radioland.mrezha.ru.

«Справочные документы» — содержит информацию по радиоэлементам, которая пригодится радиолюбителям при создании своих конструкций.

Справочник радиолюбителя — содержит информацию о взаимозаменяемых аналогах электронных компонентов; имеется информация из каталогов фирм-производителей (в том числе и отечественных);

Технические параметры — подробная информация о наиболее популярных электронных компонентах, рассортированная по видам: от диодов и транзисторов до микросхем. Есть полная информация о многих звуковых микросхемах, современных полевых транзисторах и многих других компонентах.

Оглавление книги 2

Предисловие к книге 2 3

Глава 10. Радиотехника и мир радиоволн

Как был сделан первый радиопередатчик и радиоприемник 5
Особенности распространения радиоволн 20
Виды антенн и что из них можно использовать дома 30
Немного об истории телевидения 41
Простая телевизионная антенна для дачи 44
Интересные факты и цифры 46
Основы современного радиоприема 51

Глава 11. Какие бывают радиоприемники

Детекторный приемник 61
Приемник прямого усиления 65
Рефлексный приемник 71
Регенеративный приемник 72
Сверхрегенератор 78
Приемник прямого преобразования 85
Супергетеродинный приемник 92
Асинхронно-гетеродинный приемник 104
Приемник с двойным преобразованием и другие 107
Обзор современных способов получения информации 108

Глава 12. Радиопередатчики для дома

Об устройстве передатчиков и их основных узлах 113
Высокочастотные LC-генераторы 117
Генераторы с кварцевой стабилизацией частоты 119
Режимы работы ВЧ усилителей 122
Особенности настройки передатчиков 124
Микромощные радиопередатчики 129
Ретрансляция звука телевизора или магнитофона 129
Прослушивание телефонного разговора 131
Радиомикрофон на одном транзисторе 132
Радиомикрофоны повышенной чувствительности 134
Бесконтактный ключ 136
Радиопередатчики повышенной мощности 140
Для дистанционного управления 141
Передатчик для радиосторожа 146

Глава 13. Основы схемотехники, или Как придумать схему

Зачем нужны тиристоры и симисторы 152
Однопереходные транзисторы 156

Знакомство с аналоговыми микросхемами 158
Операционные усилители 159
Компараторы 163
Аналоговые таймеры 167
Другие аналоговые микросхемы 176
Микросхемы в практических конструкциях 177
Усилители на ОУ 177
Разные фильтры на ОУ 182

Глава 14. Логика для цифрового мира

Немного об истории возникновения цифровой техники 189
Логические уровни, или Как можно передать информацию 194
Обозначения и маркировка цифровых микросхем 200
Распространенные серии 205
Первые цифровые микросхемы 205
Микросхемы с пониженным потреблением 209
Как все это работает? 212
Простейшие логические элементы 212
Триггер — ячейка памяти 217
Цифровые счетчики 221
Разные регистры 224
Преобразователи кодов сигналов 225
Коммутаторы цифровых и аналоговых сигналов 225
Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи 226
Современные микроконтроллеры и их место в радиоаппаратуре 229
Интересные факты и цифры 231

Глава 15. Устройства, полезные в быту

Простейшие зарядные устройства 236
Малогабаритные бестрансформаторные 237
С трансформаторным питанием от сети 240
Со стабилизатором тока на транзисторе 242
Со стабилизатором тока на микросхеме 243
Перезарядка гальванических элементов 244
«Таблетки» из серии СЦ 244
Элементы типоразмера АА и ААА 246
Времязадающие управляющие автоматы 247
Таймер для зарядных устройств 248
Цифровой циклический таймер 250
Таймер для забывчивых 254
Микрофон для компьютера 257
Ретранслятор команд на ИК-лучах 259
Как сделать «Люстру Чижевского» 261
Цветная музыка 271

Глава 16. Компьютер в лаборатории радиолюбителя

Чему может научить компьютер . . . 274
Вспомогательные программы . . . 276
Справочные программы . . . 278
Маркировка компонентов . . . 278
Технические характеристики . . . 279
Компьютер превращается... . . . 280
Анализаторы сигналов . . . 287
Анализатор логических сигналов . . . 289
Разводка печатных плат и графические работы . . . 290
Программы для расчетов цепей и узлов . . . 295
RLC-цепи и элементы . . . 295
Расчет трансформаторов и дросселей . . . 295
Программы для аналоговых таймеров . . . 296
Обзор обучающих программ . . . 297
Программы для моделирования схем . . . 299
Что есть полезного в Интернете . . . 303
Информационные поисковые системы . . . 303
Справочная информация по радиодеталям . . . 304
Сайты для радиолюбителей . . . 305
Бесплатные программы в Интернете . . . 306

Рекомендуемая литература . . . 308

Справочная информация

Параметры и маркировка варикапов . . . 313
Малогабаритные стандартные сетевые трансформаторы . . . 316
Трансформаторы ТП-4 . . . 316
Трансформаторы ТП-5 . . . 318
Трансформаторы ТП-112, ТП-114, ТП-115, ТП-121, ТП-321, ТПК-2 . . . 319
Миниатюрные электромагнитные реле . . . 326
Основные коммутационные параметры . . . 327
Технические параметры электромеханических реле . . . 328
Технические параметры герконовых реле . . . 337
Расположение выводов у полевых транзисторов . . . 339
Расположение выводов у биполярных транзисторов . . . 340
Особенности кодовой маркировки транзисторов . . . 341
Расположение выводов и основные параметры симисторов и тиристоров . . . 342

Оглавление книги 1 . . . 344

Содержание компакт-диска . . . 346

Борис Юрьевич Семенов
Игорь Петрович Шелестов

Путеводитель в мир электроники

Книга 2

Ответственный за выпуск
В. Митин

Макет и верстка
Н. Бармина

Обложка
Е. Жбанов

ООО «СОЛОН-Пресс»
123242, Москва, а/я 20
Телефоны:
(095) 254-44-10, 252-36-96, 252-25-21
E-mail: Solon-Avtor@coba.ru

По вопросам приобретения обращаться:
ООО «Альянс-книга»
Тел: (095) 258-91-94, 258-91-95
www.abook.ru

ООО «СОЛОН-Пресс»
127051, г. Москва, М. Сухаревская пл., д. 6, стр. 1 (пом. ТАРП ЦАО)
Формат 70×100/16. Объем 22 п. л. Тираж 1500

отпечатано в ООО «Аделия»
142605, Московская обл., г. Орехово-Зуево,
ул. Красноармейская, д. 1
Заказ № С-204

Цветовая маркировка резисторов

Цвет полосы на корпусе	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск
	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра	4-я цифра множитель	%
Золотой	-	-	-	0,01	±5
Серебристый	-	-	-	0,1	±10
[illegible]	-	0	0	1	±20
Коричневый	1	1	1	10	±1
Красный	2	2	2	100	±2
Оранжевый	3	3	3	1000	-
Желтый	4	4	4	10 000	-
Зеленый	5	5	5	100 000	±0,5
Голубой	6	6	6	1 000 000	±0,25
Фиолетовый	7	7	7	10 000 000	±0,1
Серый	8	8	8	100 000 000	±0,05
Белый	9	9	9	-	-

2 кОм ±2%

Маркировка транзисторов

Цветовая

Корпус КТ-26 (ТО-92)

КТ3107И

Тип

Кор. - - КТ326
Кр. - - КТ337
Беж. - - КТ345
Син. - - КТ349
Сер. - - КТ350
Желт - - КТ351
Зел. - - КТ352
Роз. - - КТ363
Бел. - - КТ645
Гол. - - КТ3107

Группа

Роз. - - А
Желт - - Б
Син - - В
Беж. - - Г
Оранж. - - Д
Электрик - - Е
Салат - - Ж
Зел - - И
Кр - - К
Сер - - Л

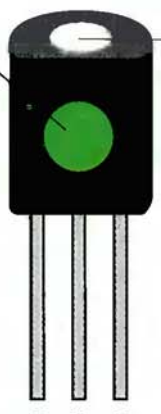
Месяц выпуска

Беж. - - январь
Син. - - февраль
Зел. - - март
Кр. - - апрель
Салат - - май
Сер - - июнь
Кор. - - июль
Оранж. - - август
Электрик - - сентябрь
Бел. - - октябрь
Желт - - ноябрь
Гол - - декабрь

Год выпуска

Беж. - - 1977
Салат - - 1978
Оранж. - - 1979
Электрик - - 1980
Бирюз. - - 1981
Бел. - - 1982
Кр. - - 1983
Кор. - - 1984
Зел. - - 1985
Гол - - 1986

КТ3102Е



Тип

Бордо. - - КТ203
Сер - - КТ209
Оранж. - - КТ313
Кор - - КТ336
Гол - - КТ339
Син - - КТ342
Желт - - КТ502
Бел. - - КТ503
Зел - - КТ3102
Серебр. - - КТ632
Табачн - КП364

Группа

Бордо. - - А
Жел. - - Б
Зел. - - В
Гол - - Г
Син. - - Д
Бел. - - Е
Кор. - - Ж
Серебр. - - И
Оранж. - - К
Табачн - - Л(И)
Сер - - М(К)

Кодовая

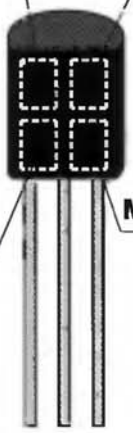
Корпус КТ-26 (ТО-92)

Тип

- КТ203
- КТ208
♦ или ◇ - КТ209
- КТ313
▼ - КТ326
▲ - КТ339
- КТ342
- КТ502
● - КТ503
◤ - КТ3102
▾ - КТ3107
◣ - КТ3157
- КТ3166
- КТ6127
- КТ680
- КТ681
- КТ698
- КП103

Группа

А
Б
В
Г
Д
Е
Ж
И
К
Л
М



Год выпуска

U - 1986
V - 1987
W - 1988
X - 1989
A - 1990
B - 1991
C - 1992
D - 1993
E - 1994
F - 1995
H - 1996
I - 1997
K - 1998
L - 1999
M - 2000
N - 2001
P - 2002
R - 2003
S - 2004
T - 2005

Месяц выпуска

1 - январь
2 - февраль
3 - март
4 - апрель
5 - май
6 - июнь
7 - июль
8 - август
9 - сентябрь
O - октябрь
N - ноябрь
D - декабрь

КТ3107И
04.1993

ISBN 5-98003-115-4
9 785980 031152