

Электрон I

„ЭЛЕКТРОН-I“

- КОМПЛЕКТ НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ
- СВЫШЕ 90 СХЕМ НА ПОЛУПРОВОДНИКАХ



7/205250

1 XI
1A-12936 III

Завод «ПУНАНЕ РЭТ»



ОПИСАНИЕ И ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОЛЬЗОВАНИЮ КОМПЛЕКТОМ НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ «ЭЛЕКТРОН-I»

Практические опыты с германиевым диодом и транзистором
из области электроники и радиотехники

Таллин 1966

ВНИМАНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Описанные в опытах 67 . . . 76 приемники могут при неумелом обращении создавать помехи радиовещательным приемникам соседей. При регулировке обратной связи в этих схемах необходимо избегать возникновения генерации (свиста).

Пользование передатчиками на средних и длинных волнах для осуществления любительской радиосвязи не разрешается. Желающие провести опыты по радиопередаче должны приобрести предусмотренное законом разрешение на любительскую коротковолновую станцию.

Следует иметь в виду, что комплектом наглядных пособий (ящиком экспериментирования) разрешается проведение только таких опытов, которые не создают радиопомех. Во избежание высокочастотного радиоизлучения при проведении опытов, в которых возможна высокочастотная генерация, необходимо применять экранировку всех излучающих деталей и проводов.

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
205250

ВВЕДЕНИЕ

С помощью настоящего специального набора радиоэлектронных узлов и деталей, комплекта наглядных пособий «Электрон-1», называемого в дальнейшем ящиком экспериментирования, представляется возможность провести опыты, дающие наглядное представление о важнейших фактах и явлениях в области радиоэлектроники.

Ящик экспериментирования позволяет собрать ряд схем, начиная с самых простых и элементарных и кончая интересными современными приборами, которые служат не только пособием при изучении радиоэлектроники, но могут быть использованы также как работающие макеты устройств, полезные для науки и народного хозяйства.

Из деталей ящика экспериментирования можно, например, скомпоновать выпрямитель для зарядки аккумуляторов. Из них же можно собирать приемники, начиная с самого простого, одноконтурного детекторного до регенеративного диодотранзисторного приемника для дальней связи. Ящик экспериментирования познакомит нас с тем, как построен усилитель на транзисторах, как работает радиопередатчик, как построен генератор звуковых частот и т.д. Из деталей ящика экспериментирования можно построить аппарат для электризации, преобразователь постоянного напряжения, электронный сигнальный предупредительный прибор, разные электронные измерительные приборы и т. д. Это только некоторые примеры возможностей ящика экспериментирования. Но особенно ценно то, что экспериментатор, производя опыты, сам незаметно знакомится с наиболее важными основами радиотехники и электроники. Он проходит систематический курс, который не только не утомляет, а напротив углубляет интерес к этой области, в результате он приобретает знания, которые не только удовлетворяют любознательность, но даже могут служить основой в случае выбора будущей специальности из области радиоэлектроники. Поэтому ящик экспериментирования особенно рекомендуется молодежи с техническими склонностями. Кроме того, самостоятельное экспериментирование дает более живое представление о предмете, чем отвлеченные учебни-

ки. А часто при экспериментировании возникает интерес к теории предмета, которая в этом случае усваивается гораздо легче.

Таким образом, ящик экспериментирования выполняет одновременно две функции:

во-первых, он дает возможность быстро и легко построить ряд небольших, но полезных в ежедневном обиходе приборов;

во-вторых, он помогает в неутомительной, увлекательной форме приобрести знание основ радиотехники и электроники. Такого рода знания в настоящее время создают многообещающие перспективы при выборе специальности.

Предварительные знания, необходимые для пользования ящиком экспериментирования, настолько минимальны, что у большинства они имеются. Вполне достаточно, если прочесть еще какую-нибудь книгу об основах радиотехники. Детали ящика экспериментирования изготовлены таким образом, что для их монтажа не требуется никакого инструмента, кроме ножа или кусачек для резки и чистки проводов от изоляции.

Программа работ с ящиком экспериментирования полностью соответствует современному уровню техники. Этим обусловлен выбор германиевого диода и транзистора в качестве основных элементов схем.

Для тех, кто еще не знаком с германиевыми диодами и транзисторами, предназначен раздел Б в настоящем описании, в котором коротко описывается конструкция и принцип действия этих полупроводниковых приборов.

Общие правила пользования ящиком даются в разделе А. Во избежание недоразумений и неудач следует особенно тщательно прочесть этот раздел и лишь после этого приступить к опытам, изложенным в следующих разделах.

Наконец, следует иметь в виду, что это описание не является только инструкцией по пользованию ящиком экспериментирования, а входит в комплект ящика такой же неотъемлемой составной частью как транзистор, трансформатор и т. д. Полный успех возможен лишь в том случае, если экспериментатор придерживается схем и инструкций, изложенных в этом описании.

При составлении этого описания имелось в виду всестороннее использование деталей, содержащихся в ящике для создания максимального числа всевозможных опытов.

В дополнение к настоящему ящику экспериментирования выпускаются еще его варианты с дальнейшими интересными опытами в области радиотехники и электроники.

А. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ПОЛЬЗОВАНИЯ ЯЩИКОМ ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

Перед тем, как приступить к опытам, следует внимательно прочесть нижеследующие указания, чтобы с самого начала привыкнуть к системе, дающей наилучший успех в работе.

Сначала ознакомимся с содержанием ящика, а затем рассмотрим общие правила обращения с деталями и проведения опытов.

1. Состав ящика экспериментирования (рис. 1)

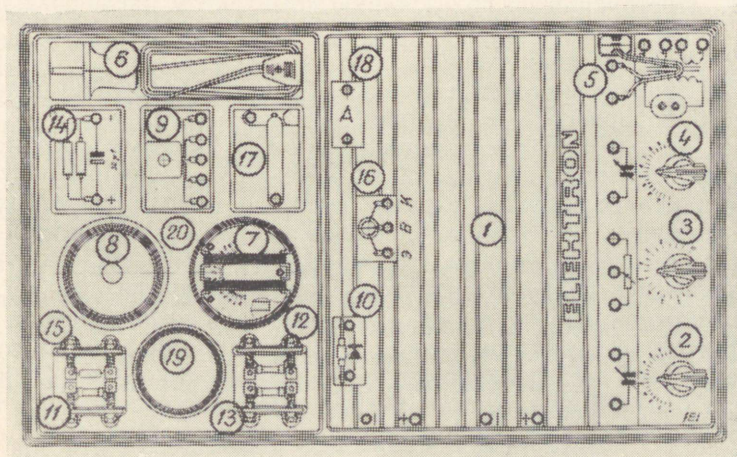


Рис. 1.

1. Универсальное шасси.
2. Переменный конденсатор емкостью до 500 пикофард (пф) с ключиком.
3. Переменный резистор, (потенциометр) сопротивлением 500 ом с ключиком.

4. Переменный конденсатор емкостью до 500 *нф* с ключиком.
5. Трансформатор на сетевое напряжение до 220 вольт (*в*).
6. Сетевой шнур с вилкой и гнездом.
7. Гальванометр.
8. Телефон (наушник).
9. Катушка на монтажной панельке.
10. Германиевый диод на монтажной панельке.
11. Резистор сопротивлением 33 килоом (*ком*) для мощности 0,25 ватт (*вт*) на монтажной панельке.
12. Резистор сопротивлением 5,1 *ком*, для мощности 0,25 *вт*, на монтажной панельке.
13. Резистор сопротивлением 1 *ком* для мощности 0,25 *вт*, на монтажной панельке.
14. Электролитический конденсатор емкостью 30 микрофарад (*мкф*), на монтажной панельке.
15. Бумажный конденсатор емкостью 470 *нф* на монтажной панельке.
16. Транзистор на монтажной панельке.
17. Выключатель на монтажной панельке.
18. Пустая монтажная панелька с зажимами (*А*).
19. 3 метра монтажного провода на катушке.
20. Основание для деталей 6...19.
21. Инструкция по пользованию комплектом наглядных пособий.
22. Коробка упаковочная.

При проведении опытов требуются еще две батарейки для карманного фонаря по 4,5 *в* каждая.

Все детали имеют специальные зажимы (клеммы), в которые без труда крепятся провода и которые дают надежный контакт. Даже наиболее сложные схемы создаются таким образом за несколько минут. Монтажные панельки снабжены с обратной стороны особыми пружинами, с помощью которых панельки легко вставляются и надежно крепятся в канавках шасси.

На каждой панельке нанесено короткое название детали и ее электрические характеристики. Наушник (телефон) имеет сопротивление 1600 *ом*; гальванометр реагирует на токи ниже 1 миллиампера (*ма*). Шкала гальванометра непропорциональна силе тока, что обусловлено конструкцией гальванометра.

Следует усвоить привычку после окончания опытов ставить все детали на места, предусмотренные для них в ящике. С деталями нужно обращаться бережно. Соединительные (монтажные) провода режутся длиной, определяемой расположением деталей данного опыта. Отрезки этих проводов могут быть использованы также в следующих опытах, поэтому целесообразно их сохранять.

2. Крепление деталей

Как уже упоминалось, панельки, на которых находятся детали, снабжены с обратной стороны пружинами, которые приспособлены для вставки деталей в канавки шасси. Канавки в шасси сделаны таким образом, что они позволяют как горизонтальное, так и вертикальное расположение панелек, что дает возможность вставлять детали схемы самым целесообразным образом.

Чтобы начинающим экспериментаторам облегчить проведение монтажа, в описании, кроме принципиальных схем, даются фотоснимки смонтированных макетов, на которых ясно видно расположение деталей и проводов. Необходимо соединить детали с помощью провода, как это показано на фотоснимке.

Хорошим упражнением для начинающего является сравнение фотоснимка с принципиальной схемой. Таким образом можно быстро научиться чтению схем. При достаточном навыке в чтении схем можно приступать к сборке и монтажу макетов прямо по принципиальной схеме.

3. Монтажные провода

Монтажный провод намотан на бумажную трубку. Режут провод кусачками или старыми ножницами. Концы проводов освобождают от изоляции на протяжении 5...6 мм. Это делают осторожно, с помощью ножа, не повреждая медной жилы провода. Расположение проводов среди деталей не является критичным, так что нет необходимости строго придерживаться положения каждого провода, показанного на фотоснимке. Также неважно, чтобы провода перекрещивались и были согнуты под прямым углом. Достаточно, если они расположены аккуратно, чтобы в них не запутаться.

Для присоединения провода к зажимам вращают кольцо-держатель, находящийся над зажимом, до совпадения отверстий для просовывания провода. Освобожденный от изоляции конец провода вставляется в отверстие таким образом, чтобы он вышел из отверстия с противоположной стороны зажима.

4. Детали, смонтированные в шасси

В шасси смонтирован специальный трансформатор, который может служить как сетевым трансформатором, так и в качестве трансформатора связи. Его размеры подобраны с расчетом возможности универсального использования в пределах осуществляемых ящиком экспериментирования схем. Трансформатор имеет три обмотки, из которых обмотка 1-2 служит первичной обмоткой для переменного напряжения до 220 в. Тогда на обмотке 3-4 будет 24 в, а на 5-6 — 4 в. Допустимые токи небольшие: в об-

мотке 3-4 около 0,2 а и в обмотке 5-6 около 0,5 а. Для наших целей этого вполне достаточно. При использовании трансформатора в качестве сетевого, соединительная вставка просто стягивается со штырьков 1-2, ставится в углубление на правом краю шасси и на освободившиеся штырьки надевается гнездо сетевого шнура. Затем вилка на другом конце шнура вставляется в стенную розетку. Возможность прикосновения к первичной обмотке, присоединенной к сети таким образом, исключается. Если же трансформатор должен в некоторых схемах служить звеном связи, соединительная вставка ставится обратно на штырьки 1-2. Тогда обмотка 1-2 трансформатора присоединена к двум зажимам справа. Обмотки 3-4 и 5-6 всегда остаются соединенными с соответствующими зажимами на наклонной (передней) панели шасси.

Никогда нельзя подключать сеть непосредственно к зажимам. Всегда следует пользоваться специальным сетевым шнуром с вилкой и гнездом.

В шасси смонтированы, кроме того, два переменных конденсатора, оси которых выведены на переднюю (наклонную) панель. Шкалы на передней панели имеют деления для отсчета положения ручек — ключиков. Далее, встроен переменный резистор (потенциометр) сопротивлением 500 ом, шкала которого имеет 10 делений. При батарейном напряжении от 4 до 4,5 в и использовании переменного резистора (потенциометра) в качестве делителя напряжения, каждому делению шкалы соответствует изменение напряжения приблизительно на 0,4 в, при условии, что потенциометр не загружен другими элементами схемы. Таким образом, имеется возможность получения более или менее определенных напряжений.

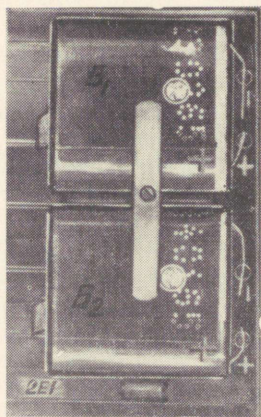


Рис. 2.

Обе батареи помещаются в отведенном для них отсеке под шасси. Полоски присоединения батарей вставляются в шлицы соответствующих гильз с соблюдением полярности, указанной около зажимов, находящихся над шасси (слева). Длинная полоска батареи — минусовой полюс, короткая полоска — плюсовой полюс (рис. 2).

5. Уход за батареями

Батареи карманного фонаря расходуются сравнительно быстро, если их не беречь, поэтому следует оставлять их включенными только на время опыта. Это особенно важно в том случае, если

параллельно к батарее подключен делитель напряжения (переменный резистор сопротивлением 500 ом) и в схеме не предусмотрен выключатель батареи. Через делитель напряжения непрерывно течет ток силой 9 или 18 ма , в зависимости от того, подключена одна или две батареи. Батареи быстро расходуются, если их оставлять включенными на продолжительное время.

После окончания каждого опыта надо убедиться в том, что батареи не включены. Лучше всего разъединить один полюс каждой батареи.

6. Работа с питанием от сети

Как включать сетевой трансформатор и как с ним обращаться уже упоминалось в пункте 3. Повторим еще раз, что подключение трансформатора к сети допускается только с помощью специального сетевого шнура, который имеется в комплекте ящика экспериментирования. Соединение зажимов шасси с сетью отдельными проводами не только опасно, но может испортить детали.

7. Гальванометр

Имеющийся в ящике экспериментирования гальванометр является измерительным прибором очень простой конструкции и не может сравниться с высококачественными измерительными приборами тока или напряжения.

Однако при тщательном обращении можно на основании величины отклонения стрелки этого гальванометра сделать все необходимые выводы. Величина отклонения стрелки гальванометра не пропорциональна измеряемому току. Чувствительность же гальванометра достаточна. Токи ниже 1 ма дают еще заметное отклонение стрелки. Перегрузка обмотки гальванометра в нормальных условиях опыта невозможна. Для увеличения чувствительности стрелка гальванометра очень слабо демпфирована. Поэтому стрелка, после подключения или резкого изменения измеряемого тока, долго колеблется, вследствие чего для отсчета измерения требуется некоторое терпение. Ловкачи сумеют приостановить чрезмерные колебания стрелки, слегка нажимая пальцем на стрелку или в подходящий момент (когда стрелка идет в обратном направлении) прерывая на миг соединение с гальванометром. Упражняясь, этому нетрудно научиться. Естественно, необходимо всегда обращать внимание на то, чтобы стрелка перед каждым измерением стояла на нуле (параллельно обмотке гальванометра). При желании можно заменить гальванометр покупным миллиамперметром с пределом измерения примерно до 100 ма .

8. Порядок проведения опытов

Тому, у кого есть желание освоить электронную технику начиная с самых аздов, рекомендуется систематически проделать все опыты в предлагаемой здесь последовательности. На это требуется, конечно, много времени и терпения, что, однако, полностью окупается. Тот, кто основательно проработает весь предлагаемый здесь материал, может быть уверен в том, что он овладеет основами радиотехники и электроники не только в теории, но и на практике. При желании еще более основательного углубления в эту область целесообразно одновременно с опытами пользоваться соответствующей специальной литературой.

Тому же, кто не располагает необходимым временем и не особенно заинтересован в систематическом прохождении курса по электронной технике, рекомендуется другой способ использования ящика экспериментирования. Многие описываемые здесь опыты приводят к составлению макетов приборов, которые не только служат для забавы экспериментатора, но могут также быть использованы по назначению. Схемы такого рода могут быть смонтированы просто на основании фотоснимка, что не требует особых предварительных знаний. Такими опытами являются описанные в пунктах 25, 29, 31, 32, 33, 34, 37, 54, 57, 60, 61, 66, 70, 73, 74, 76, 84, 95.

Как видно, из этого перечня, представляются большие возможности выбора схем. В этом случае можно упустить изучение инструкции остальных опытов, выбирая только наиболее интересные эксперименты для демонстрации в кружке или для непосредственного практического применения. Однако, в этом случае много теряется в приобретении знаний и опыта.

При некоторых опытах требуется особая осторожность, чтобы не испортить транзистор. На это обращается внимание в инструкциях к опытам. Поэтому необходимо соответствующие инструкции всегда прочитывать внимательно и полностью!

Б. ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ТРАНЗИСТОРЫ

9. Полупроводниковый диод

В ящике экспериментирования применяются две детали, которые появились сравнительно недавно, но вполне оправдали себя и являются весьма прогрессивными.

На первом месте стоит полупроводниковый диод. Он состоит из кристалла германия или кремния (оба химические элементы), к которому прижимается тонкое металлическое острие. Кристалл и острие расположены друг против друга и помещаются в трубочке из стекла или другого изоляционного материала. Трубочка герметически закрыта. Провода, идущие к кристаллу и острию, выведены наружу. Такой тип диода называется точечным диодом.

Существуют еще плоскостные диоды, состоящие в принципе из двух различных сплавленных друг с другом полупроводниковых кристаллов, отличающихся составом примесей. Между кристаллами в плоскости их прикосновения образуется запирающий слой. Примесь одного кристалла диода дает ему избыток электронов, причем в качестве примеси другого кристалла выбираются вещества, имеющие стремление присоединить к себе электроны, содержащие «дырки» — места, в которых электроны отсутствуют. Первый тип примеси называется донором, а второй — акцептором. На отличительном свойстве доноров и акцепторов основана способность диода пропускать ток только в одном направлении, и таким образом, служить выпрямителем. У точечного диода в процессе формирования, между острием и кристаллом тоже образуется промежуточная зона, содержащая акцепторы — если в кристалле доноры и наоборот. Запирающий слой называется *pn*-переходом. В дальнейшем будем рассматривать преимущественно плоскостные германиевые диоды.

Плоскостный диод работает следующим образом: если приложить напряжение к обоим кристаллам диода таким образом, что

германий, содержащий доноры (*n*-германий) был бы отрицательным по отношению к другому кристаллу, содержащему акцепторы (*p*-германий), то из *n*-германия электроны, а из *p*-германия дырки (несущие как бы положительный заряд) передвигаются к запирающему слою (рис. 4). Наличие переносчиков электричества — электронов и дырок — в запирающем слое уменьшает его сопротивление току. Диод в этом направлении хорошо проводит ток. Если же переменить полярность прикладываемого к диоду напряжения на противоположную, носители заряда — электроны и дырки — удаляются из запирающего слоя, вследствие чего его проводимость электрического тока исчезает (рис. 3). Диод

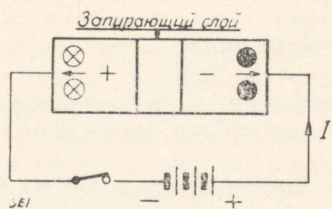


Рис. 3.

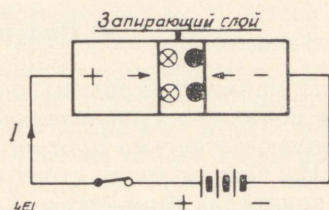


Рис. 4.

для токов в этом направлении заперт и представляет собой резистор с большим сопротивлением. В проводящем направлении уже при совсем низких напряжениях через диод течет относительно сильный ток; в запирающем направлении, даже при сравнительно высоких напряжениях, ток ничтожно слаб. Следовательно, германиевый диод ведет себя как электрический вентиль. Следует обращать внимание на зависимость тока от температуры в запирающем направлении. При нагреве в кристаллах германия освобождаются дополнительные носители заряда — электроны и дырки, вследствие чего проводимость в запирающем направлении повышается. Это явление демонстрируется в следующих опытах, в которых показывается работа диода в качестве выпрямителя переменного тока.

Точечные диоды являются преемниками давно известных кристаллических детекторов, которые принципиально построены таким же образом. При работе с кристаллическими детекторами приходилось, однако, время от времени переставлять острие контакта в новую, более чувствительную точку, так как со временем чувствительность кристаллических детекторов терялась. В современных, более совершенных германиевых диодах нет необходимости такого регулирования.

Точечные диоды используются в тех случаях, когда требуется малая емкость между контактами и выпрямляемая мощность мала. Плоскостные диоды выдерживают большие нагрузки, зато имеют и большую собственную емкость, что в некоторых случаях невыгодно.

Вместо германиевых диодов в последнее время стали во многих случаях применять кремниевые диоды, имеющие такую же конструкцию и работающие по тому же принципу, что и германиевые диоды. Они выпускаются также в точечном и плоскостном варианте. Температурная зависимость токов в запиорном направлении у кремниевых диодов ничтожно мала. Зато, для получения таких же токов в пропускном направлении требуется более высокое напряжение, чем при германиевых диодах.

Большая стабильность, хорошие характеристики и малые габариты полупроводниковых диодов способствовали их быстрому внедрению в радиотехнику. С ними возможны конструкции миниатюрных приборов, невыполнимые при использовании радиоламп.

Область применения германиевых диодов хорошо освещается опытами, проводимыми с помощью описываемого ящика экспериментирования.

Наконец, заслуживает упоминания еще одно важное свойство полупроводниковых диодов — их светочувствительность.

Так же как тепловая энергия при нагревании способна освобождать носителей заряда в полупроводниках, так и световая энергия может увеличить в них количество электронов и дырок. Особенно при освещении области запиорного слоя в нем образуются свободные электроны и дырки, вследствие чего ток в запиорном направлении значительно возрастает. Благодаря этому свойству можно использовать полупроводниковый диод в качестве фотоэлектрической ячейки. В иных случаях этот фотоэлектрический эффект является помехой. Большинство диодов снабжается поэтому светонепроницаемым покрытием.

10. Транзисторы (полупроводниковые триоды)

Современный плоскостный транзистор состоит в принципе из трех, рядом расположенных разных кристаллов, которые плотно прилегают друг к другу. Если первый кристалл из p -германия, второй из n -германия, а третий опять из p -германия (или другого соответствующего вещества), транзистор называется pnp -транзистором (рис. 5). Если брать n -, p - и n -кристаллы, то получается npn -транзистор. Средний кристалл, находящийся между крайними, который делается тоньше крайних, называется основанием, или базой транзистора.

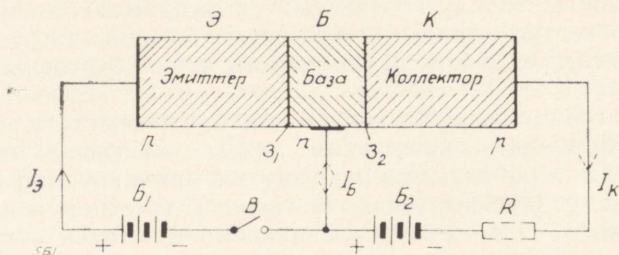


Рис. 5.

Внешние (крайние) кристаллы называются эмиттером и коллектором.

Для изготовления таких транзисторов существует два принципиально отличающихся друг от друга способа.

По одному из них исходным материалом является расплавленный p -германий, из которого выращивается и медленно вытягивается кристалл этого вещества. Когда кристалл вырастает до определенного размера, к сплаву добавляются доноры, так, что их количество будет преобладать над акцепторами и сплав приобретет свойства n -германия. Вытягивание кристалла продолжается опять до достижения определенной толщины второго, прилегающего к первому кристалла, образующего базу будущего транзистора. Тогда добавляют к сплаву акцепторы и сплав опять приобретает характер p -германия. Вытягивание кристалла продолжается еще некоторое время и транзистор готов. Такие транзисторы называются «выращенными».

Второй способ изготовления плоскостных транзисторов исходит из кристалла n -германия, служащего затем базой транзистора. С обеих сторон кристалла приплавляется «лепешка» из индия, который в некоторой степени диффундируется в кристалл германия, отдавая последнему «дырки» и образуя таким образом тонкие зоны p -германия, которые служат коллектором и эмиттером транзистора. Второй способ является сегодня преобладающим способом изготовления плоскостных транзисторов, называемых, по технологии изготовления, сплавными транзисторами. Способ изготовления последних в начале был связан с огромными физическими и химическими трудностями, и, конечно, не так прост, как здесь описывается. Кроме названных, существует большое количество специальных способов получения транзисторов с определенными особыми качествами. При использовании т. н. дрейфового и диффузионного метода получают, например, транзисторы, особенно пригодные для применения в области ультракоротких волн (УКВ). Новейшим достижением является мезатранзистор.

Если рассмотреть отдельно один из внешних кристаллов транзистора в совокупности с базой, то эта комбинация кристаллов представляет собой обыкновенный германиевый диод. Система из трех кристаллов имеет особые интересные свойства. При подведении к коллектору и базе напряжения в заперном направлении потечет только очень слабый ток, называемый обратным током. Если теперь эмиттеру *pnp*-транзистора дать положительный потенциал относительно базы, то это вызовет при уже совсем низких напряжениях сильный ток коллектора. Последний обусловлен образующимся потоком дырок, из которых большинство проходит через базу к коллектору, который их жадно поглощает, вызывая тем самым, так называемый, коллекторный ток. Таким образом, первоначальный слабый остаточный коллекторный ток в заперном направлении увеличивается в значительной мере, если сделать эмиттер положительным по отношению к базе. При этом коллекторный ток немногим слабее эмиттерного, так как часть дырок стекает к базе.

Не трудно показать, что при таком включении транзистора достаточно совсем низкого напряжения эмиттера в направлении пропускания для получения сравнительно сильного коллекторного тока, который в нагрузочном сопротивлении, находящемся в цепи коллектора, вызывает падение напряжения, значительно превышающее напряжение, приложенное (в направлении пропускания) к эмиттеру. Отсюда вытекает, что транзистор способен усиливать напряжение, так как напряжение на выходе (на сопротивлении нагрузки) намного больше входного напряжения на эмиттере. Усиление по току по данной схеме включения транзистора не получается, так как коллекторный ток даже меньше эмиттерного. Несмотря на это, получается значительное усиление мощности за счет большого усиления напряжения. Рассмотренная схема включения транзистора называется схемой с общей базой, так как база является общим элементом входной и выходной цепи схемы. В этой схеме усиления в качестве управляющего электрода используется эмиттер. Однако можно также использовать базу в качестве управляющего электрода. В этом случае получается схема с общим эмиттером, в которой, кроме усиления по напряжению и по мощности, будет также усиление по току, так как ток в цепи базы всегда меньше тока в цепи коллектора. (Ток в цепи базы равняется разности токов эмиттера и коллектора). Из-за большого коэффициента усиления как по напряжению, так и по мощности и току, схема с общим эмиттером нашла широкое применение в практике.

Возможна еще схема с общим коллектором, в которой управляющим электродом является база и нагрузка включается в цепь эмиттера. Ее практическое значение довольно ограничено. К ней вернемся в последующих опытах.

В итоге можно сказать, что транзистор пригоден для усиле-

ния токов, напряжения и мощности. Он имеет свойства, аналогичные свойствам радиолампы. Это обеспечивает ему большие возможности применения в радиотехнике и электронике, что практически будет доказано в последующих опытах.

Транзистор реагирует на колебания температуры и действие света таким же образом, как мы уже видели у диода. Теплота и свет вызывают приток энергии, что со своей стороны вызывает освобождение носителей тока в полупроводнике. Этим усиливается ток в запорном направлении, что зачастую является нежелательным, но иногда может быть использовано, как, например, у фототранзистора.

Главным преимуществом транзистора перед радиолампой является то, что для него требуются очень низкие напряжения питания, и габариты транзистора очень малы. Кроме того, транзисторы не требуют накала и, при правильном обращении, обладают практически неограниченным сроком службы, благодаря чему их часто предпочитают лампам.

Однако транзистор не может полностью вытеснить лампы, за которыми остаются области применения, в которых транзисторы принципиально ведут себя хуже.

Существует очень много типов транзисторов. Исторически первым типом транзистора был низкочастотный транзистор малой мощности. Транзистор такого типа положен также в основу наших опытов. Его выходная мощность лежит намного ниже 1 ватта. Транзисторы этого типа предназначены для применения только в области низких частот, хотя наши опыты покажут также их ограниченную применяемость в области высоких частот. По внешнему виду эти транзисторы имеют форму короткой трубочки, толщиной меньше чем у карандаша. Выводы электродов имеют вид тонких проводов. При пайке в схему их нельзя укорачивать, так как в этом случае транзистор может от сильного нагревания паяльником испортиться. По этой же причине рекомендуется во время пайки отводить теплоту плоскогубцами, которыми провод зажимается между транзистором и местом пайки.

Усовершенствованным вариантом низкочастотного транзистора является высокочастотный транзистор, по внешнему виду похожий на вышеописанный низкочастотный транзистор. Высокочастотные транзисторы имеют особенно тонкий слой базы и их коллекторная емкость очень мала, что придает им хорошие высокочастотные качества. Имеются транзисторы для частот до 10 Мгц, однако, в специальных типах эта граница далеко превзойдена (в диффузионных, дрейфовых и мезатранзисторах верхняя граница частот около 800 Мгц). Все эти высокочастотные транзисторы предназначены только для малых мощностей.

Третью группу транзисторов образуют мощные транзисторы (или мощные полупроводниковые триоды). По габаритам они намного больше предыдущих, так как применяются кристаллы

больших размеров. В связи с этим такие транзисторы допускают нагрузку сильными токами и большими мощностями. Мощные транзисторы выпускаются почти исключительно для области низких частот. Имеются транзисторы мощностью порядка 100 ватт. Эти типы пригодны для построения мощных усилителей низкой частоты. Они пока еще сравнительно дороги. В последние годы заводы начали выпускать также некоторые типы мощных транзисторов для высоких частот.

Наконец, следует обратить внимание на то, что в последнее время все больше переходят к применению кремниевых транзисторов. Принципиально они построены так же, как германиевые транзисторы, однако, в них вместо германия применяются кристаллы чистейшего кремния. Такие транзисторы имеют значительно меньшую температурную зависимость токов в запиорном направлении, что делает их особенно ценным в практическом применении.

Конечно, этот, короткий обзор может дать только представление о важнейших свойствах транзисторов.

В первую очередь ознакомимся с многосторонними возможностями применения транзистора. Транзисторы применяются в усилителях, приемниках, передатчиках; они применяются в электронике как электронные выключатели или датчики импульсов. Мы встречаем их также во многих схемах измерительной техники, и, наконец, они играют некоторую роль в качестве фотоэлементов.

В. ОПЫТЫ С ГЕРМАНИЕВЫМ ДИОДОМ

Электрические свойства германиевого диода могут четко демонстрироваться практическими опытами. Опыты показывают, с одной стороны, важнейшие характеристики диода, с другой стороны, как, применяя германиевый диод, простыми средствами можно собрать практически полезные приборы.

11. Ток диода в пропускном направлении

Постановка опыта. Смонтируем на шасси детали так, как показано на рис. 6. Получается цепь, питаемая напряжением 4,5 в и состоящая из резистора сопротивлением 1 ком, германиевого диода, гальванометра и выключателя.

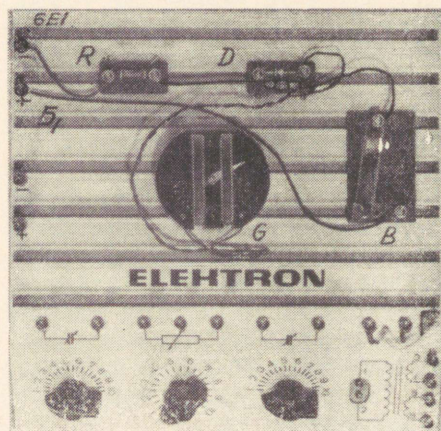


Рис. 6.

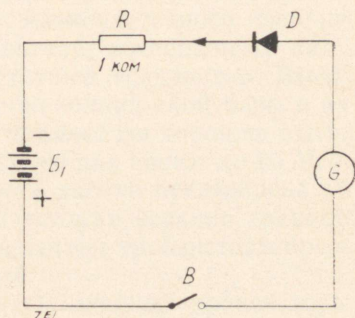


Рис. 7.

Принципиальная схема изображена на рис. 7. На этой схеме обозначены B_1 — источник напряжения (батарея), R — резистор, D — диод, G — гальванометр и B — выключатель. Нажимая на выключатель, замыкаем цепь, и гальванометр сильно отклоняется. Отпускаем выключатель, цепь размыкается и стрелка гальванометра возвращается в исходное положение.

Результат наблюдения. Мы видим, что диод в пропускном направлении имеет малое сопротивление, так что в замкнутой цепи может течь сильный, т. н. прямой ток.

Выводы. Если германиевый диод включен в цепь таким образом, что ток течет в направлении острие-кристалл (на рис. 7 острие изображено треугольником), то диод работает в пропускном направлении. В этом случае запирающий слой между металлическим контактом и германиевым кристаллом богат носителями заряда и не представляет заметного сопротивления току.

12. Ток германиевого диода в запирающем направлении

Постановка опыта. Оставим схему как на рис. 6, но поменяем полярность диода на обратную. Для этого отключим провода от диода, повернем панельку диода на 180° и присоединим провода снова к диоду. Рис. 8 изображает видоизмененную таким образом схему. Замыкаем теперь выключатель B , гальванометр не дает отклонения, стрелка не отклоняется даже в том случае, если кусочком провода замкнут накоротко резистор сопротивлением 1 ком и повысим напряжение, переставив провода питания с 4,5 в на 9 в, соединив последовательно обе батареи; для этого соеди-

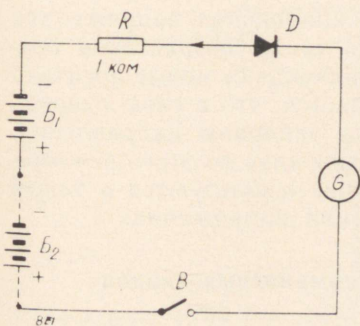


Рис. 8.

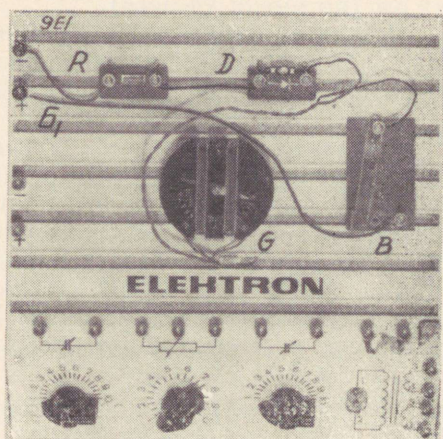


Рис. 9.

нием проволокой полюс-зажим верхней батареи с минус-зажимом нижней батареи и переносим провод от выключателя к плюсу-зажиму нижней батареи, как показано на рисунке 8.

Результат наблюдения. Мы констатировали, что германиевый диод имеет в запорном направлении очень большое сопротивление и поэтому нам не удастся имеющимися у нас средствами получить измеряемый гальванометром ток. Запорное направление диода изображено на рис. 8. Направление обратного тока (если бы он был замечен) идет от плюса-зажима батареи через кристалл к острию и обратно к батарее.

Выводы. В направлении кристалл-острие германиевый диод имеет очень большое сопротивление, так как в этом случае в запирающем слое между острием и кристаллом отсутствуют носители электрического заряда, вследствие чего проводимость диода ничтожно мала.

13. Обнаружение тока Ценера

Постановка опыта. Этот опыт проводится в виде мысленного эксперимента, так как для него пригоден только кремниевый диод. Схема собирается точно так, как показывают рисунки 8 и 9; но представим себе, что напряжение U батареи значительно выше. Начиная с определенного значения напряжения незаметный до этого ток в запорном направлении вдруг начинает увеличиваться и стрелка гальванометра отклоняется. При дальнейшем повышении напряжения этот ток быстро растет. Теперь уже совсем малые приращения напряжения (доли вольта) вызывают значительное увеличение тока. Этот ток называется током Ценера (по имени ученого).

Результат наблюдения. Кремниевые диоды теряют запирающие свойства, если напряжение в запорном направлении превышает определенное значение, т. н. обратное пробивное напряжение.

Выводы. При чрезмерно больших запирающих напряжениях напряженность электрического поля, а также возрастание температуры (как вторичное явление), освобождают новые носители заряда и сопротивление диода уменьшается, что в свою очередь вызывает быстрое возрастание тока в запорном направлении. Нормальные диоды портятся, если их доводить до этого режима. Специальные диоды, т. н. диоды Ценера, используются в таком режиме для стабилизации и ограничения напряжения.

14. Температурная зависимость германиевых диодов

Постановка опыта. Используем опять схему рис. 8. Располагающий достаточной смелостью экспериментатор может осуществ-

вить этот опыт в действительности. В противном случае можно провести только мысленный эксперимент.

Осторожно нагревая диод в схеме маленьким спиртовым пламенем, можно наблюдать, как гальванометр постепенно дает незначительное, но вполне заметное отклонение. Тогда пламя быстро (!) удаляют. Теперь стрелка гальванометра возвратится в исходное положение.

Результат наблюдения. При нагреве германиевого диода незаметный до этого ток в запертом направлении значительно увеличится и станет заметным (стрелка гальванометра немного отклоняется).

Выводы. Нагрев кристалла германия в диоде освобождает новые носители заряда, что обуславливается внесением в кристаллы извне энергии (в данном случае тепловой энергии). Появление новых носителей заряда означает уменьшение сопротивления и, тем самым, увеличение тока в запертом направлении. Это явление считается большим недостатком диода. Конечно, бельзя держат диод прямо в пламени, а только вблизи него!

15. Прямой ток в диодном промежутке транзистора

Постановка опыта. Уберем теперь германиевый диод из схемы предыдущих экспериментов и заменим его промежутком коллектор-база транзистора (между точками *Б* и *К*), как показано на рис. 10.

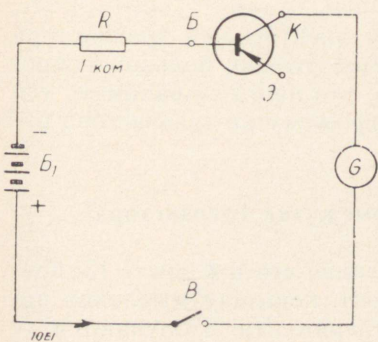


Рис. 10.

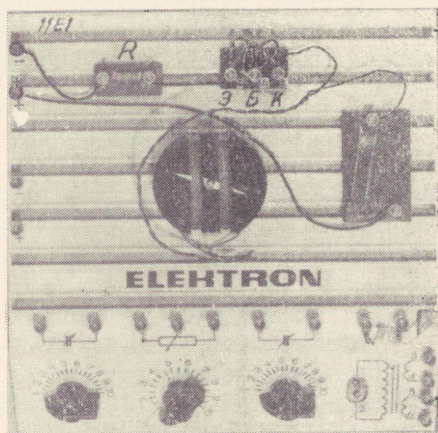


Рис. 11.

На рис. 11 показан необходимый для этого монтаж. Коллектор K соединяется через гальванометр G и выключатель B с плюсовой батареей. При включении выключателя гальванометр обнаруживает, как в опыте 11, сильный ток. Такой же результат получается, когда провод, идущий к коллектору, отсоединить и присоединить к эмиттеру (к точке \mathcal{E}).

Результат наблюдения. Также, как в опыте 11, констатируем, что сопротивление промежутка коллектор-база в данном направлении тока мало. То же самое в промежутке эмиттер-база. В обоих случаях имеем дело с диодом, работающим в пропускном направлении.

Выводы. При направлении полярности по рисункам 10 и 11 запирающий слой между коллектором и базой и, соответственно, между эмиттером и базой богат носителями заряда, сопротивление незначительно, ток большой. Диодные промежутки транзистора ведут себя здесь как германиевый диод в пропускном направлении.

16. Ток диодного промежутка транзистора в запирающем направлении

Постановка опыта. Подобно тому, как уже делали в опыте 12, изменим полярность: ведущий по рис. 10 к коллектору K провод присоединим теперь к базе B и провод, идущий к базе, соединим с коллектором. Нажмем теперь на выключатель, стрелка гальванометра отклонится еле заметно или вообще не отклонится. Такой же результат получим, если вместо коллектора присоединим эмиттер \mathcal{E} .

Результат наблюдения. При данной полярности включения диодные промежутки транзистора ведут себя как диоды в запирающем направлении. При данном напряжении ток очень слаб. Величины обратных токов у разных экземпляров транзисторов различны.

Выводы. Запирающий слой между электродами транзистора беден носителями заряда, имеем, следовательно, большое сопротивление, так что ток настолько слаб, что наш гальванометр его еле-еле обнаруживает. Оба диодных промежутка транзистора работают в запирающем направлении.

17. Ток Шоттки в диодном промежутке транзистора

Постановка опыта. По той же причине, что и в опыте 13, проводим только мысленный эксперимент, повышая мысленно напряжение питания предыдущего эксперимента. Получаются те же результаты, что в опыте 13.

Результаты наблюдения. При существенном повышении на-

пряжения в запиорном направлении диодного промежутка транзистора, первоначально ничтожно малый ток значительно возрастает.

Выводы. Диодные промежутки транзистора, включенные в запиорном направлении, показывают эффект Ценера, с которыми мы уже ознакомились в опыте 13. Как указывалось этот эффект вызван освобождением носителей заряда в сильном электрическом поле и, вторично от повышения температуры.

18. Температурная зависимость диодного промежутка в запиорном направлении

Постановка опыта. Так же как в опыте 14, проведем только мысленный эксперимент, если не желаем рисковать испортить транзистор при его нагреве спиртовым пламенем. При нагреве обнаруживается, что ток в запиорном направлении в обоих диодных промежутках транзистора внезапно возрастает. Этот эффект заметен уже при приближении горячего паяльника.

Результат наблюдения. Повышение температуры диодных промежутков транзистора приводит к значительному повышению величины тока в запиорном направлении.

Выводы. При нагреве извне введенная энергия освобождает добавочные носители заряда в кристалле, что обуславливает понижение сопротивления и, тем самым, увеличение тока в запиорном направлении. Это явление, как уже упоминалось, является большим недостатком транзистора.

19. Свойства промежутка эмиттер-коллектор в транзисторе, рассматриваемом, как система, состоящая из двух диодов

Постановка опыта. Оставляя основную схему опыта 17, вводим промежуток эмиттер-коллектор в цепь тока (рис. 12). При включении выключателя получается некоторое отклонение стрел-

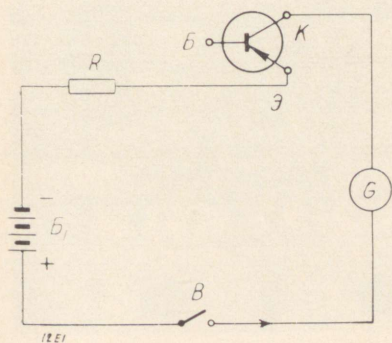


Рис. 12.

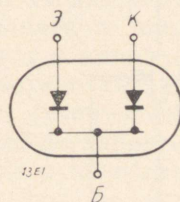


Рис. 13.

ки гальванометра (в большинстве случаев менее 3 делений). То же самое получается, если переставить провода, идущие к эмиттеру и коллектору, так, чтобы ток через транзистор шел в обратном направлении.

Результат наблюдения. В обоих случаях констатируем, что сопротивление между эмиттером и коллектором очень большое. В противном случае транзистор неисправен.

Выводы. Транзистор можно грубо представить как последовательное соединение двух диодов (рис. 13), таким образом, несмотря на полярность напряжения, приложенного между эмиттером и коллектором, один из диодов будет всегда работать в запорном направлении. Следовательно, в цепи во всех случаях находится последовательно с очень большим сопротивлением малое сопротивление и ток, определяемый общим сопротивлением, будет очень мал.

20. Снятие вольт-амперной характеристики диода в пропускном направлении

Постановка опыта. Монтаж производится согласно рис. 14 и 15. Потенциометр P , имеющий сопротивление 500 ом , включается параллельно батарее B_1 , нужное напряжение берется со скользящего контакта потенциометра и подводится к диоду, причем ток диода измеряется гальванометром G . Для снятия вольт-амперной характеристики диода необходимо постепенно изменять напряжение и отсчитывать соответствующие величины тока. Изображая графически взаимозависимые значения тока и напряжения, получим вольт-амперную характеристику диода.

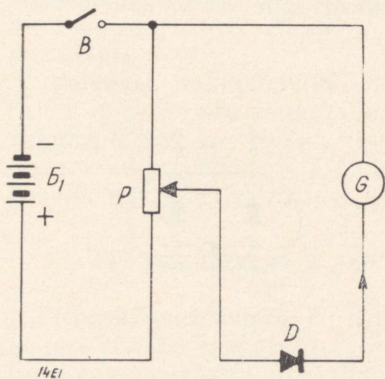


Рис. 14.

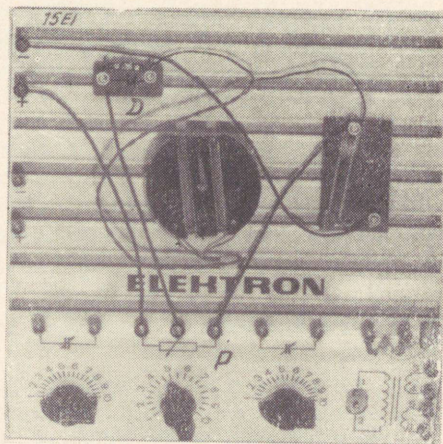


Рис. 15.

Так как у нас нет вольтметра, используем шкалу потенциометра P . Шкала разделена на 10 делений, причем напряжение батареи равно приблизительно 4 в. Каждому делению шкалы соответствует, таким образом, приблизительно 0,4 в. Более точное определение напряжения нам не нужно, поэтому можем пренебречь ошибкой, получаемой вследствие нагрузки потенциометра током диода.

Потенциометр ставится в начале измерения на нуль шкалы. Включаем выключатель и оставляем его в замкнутом положении. Убеждаемся в том, что при этом стрелка гальванометра не отклоняется. Теперь медленно вращаем клювик потенциометра, устанавливаем его против цифры 1 шкалы и отсчитываем величину тока I по гальванометру. Положению против цифры 1 клювика потенциометра соответствует напряжение $U = 0,4$ в, против цифры 2 напряжение $U = 0,8$ в и т. д. Эти напряжения записываем в табличку рядом с соответствующими токами. Во избежание перегрузки диода не следует идти дальше, чем до пятой цифры шкалы потенциометра. По окончании опыта клювик потенциометра ставим снова на нуль и прерываем цепь тока, размыкая выключатель B .

Результаты наблюдения. После окончания измерений вычерчиваем график, нанося значения тока I в зависимости от напряжения U и соединяем полученные точки плавной линией. Получаемая таким образом характеристика диода будет иметь вид, изображенный на рис. 16.

Около нуля характеристика сильно искривлена, прямее она становится по мере увеличения напряжения. При вычерчивании характеристики надо учесть, что вследствие небольшой точности измерений, полученные точки не лежат точно на характеристике и будут в некоторой мере разбросаны по обе стороны от нее.

Выводы. Из полученной вольт-амперной характеристики вытекает, что внутреннее сопротивление германиевого диода в начале сравнительно большое, что выражается в малой крутизне начала кривой. Затем критична характеристика увеличивается и она становится прямее. Это указывает на установившееся относительно малое сопротивление. Этот участок характеристики германиевого диода в большинстве случаев и используется на практике.

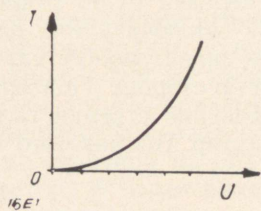


Рис. 16.

Г. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРМАНИЕВЫХ ДИОДОВ

21. Выпрямитель на германиевом диоде

Постановка опыта. Выпрямляющие свойства германиевого диода хорошо демонстрируются с помощью нашего ящика экспериментирования. Сделаем небольшой предварительный опыт: присоединим зажимы 1 и 2 встроенного в шасси трансформатора Tr с помощью сетевого шнура к сети переменного тока напряжением 220 в. С обмотки 5-6 трансформатора можем теперь получить напряжение около 4 в. Присоединим эти клеммы непосредственно к гальванометру. При подключении гальванометра его стрелка будет отклоняться в одном или другом направлении. Если отключить ток, дать стрелке установиться на нуль и включить снова, может случиться, что стрелка отклонится теперь в другую сторону. Повторяя это несколько раз подряд, убедимся, что отклонение стрелки гальванометра носит совершенно случайный характер. Вызвано это тем, что в нулевом положении (до включе-

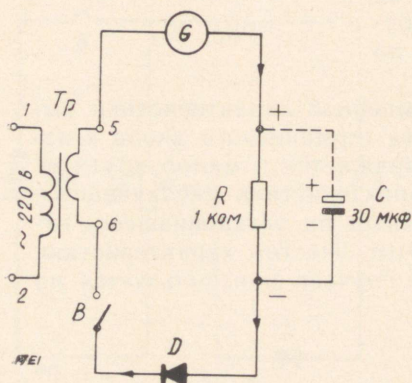


Рис. 17.

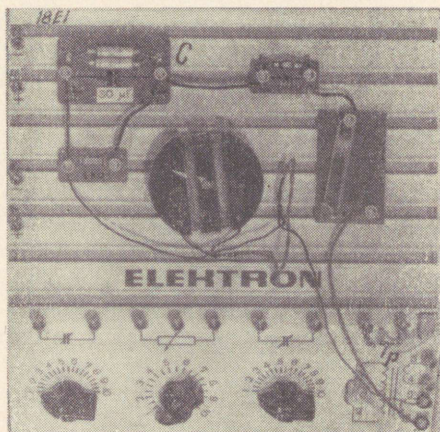


Рис. 18.

ния тока) стрелка не строго параллельна обмотке гальванометра, а находятся от нее то чуть-чуть правее, то левее, соответственно в ту же сторону она при включении тока и отклонится.

Теперь монтируем схему по рис. 17 и 18. Переменное напряжение от зажима 5 подводится через гальванометр G и резистор R к диоду D через выключатель обратно к зажиму 6 трансформатора Tr . Электролитический конденсатор C присоединим предварительно только одним концом; указанный на рис. 17 пунктиром провод пока упустим.

Если теперь выключить ток, стрелка гальванометра будет каждый раз отклоняться только в одном определенном направлении, которое уже не будет зависеть от первоначального положения гальванометра. Если же повернуть концы проводов, идущие к диоду, так, чтобы ток проходил через него в обратном направлении, то стрелка гальванометра будет отклоняться также в обратную сторону.

Результат наблюдения. Предварительный опыт показал, что стрелка гальванометра может отклоняться либо вправо, либо влево. После включения диода в цепь тока стрелка гальванометра начнет отклоняться в одну определенную сторону, как при подключении сухой батареи. Очевидно диод выпрямляет переменный ток.

Выводы. В предыдущих опытах мы видели, что диод пропускает ток только в одном направлении. При применении переменного напряжения выпрямленный ток может течь только во время одного полупериода. Ток течет всегда в одном и том же направлении, которое определяется полярностью диода, что доказывает однозначное отклонение стрелки гальванометра. Ток идет в направлении пропускания диода, как указано стрелкой на рис. 17. В используемой схеме верхний конец резистора R будет положительным, нижний конец — отрицательным полюсом.

Если поменять полюсы диода, изменится и полярность на резисторе R , так как ток пойдет теперь в обратном направлении.

22. Использование диодного промежутка транзистора в качестве выпрямляющего элемента

Постановка опыта. Повторим опыт 21, заменив диод промежутком эмиттер-база или коллектор-база транзистора. В остальном оставим все как в предыдущем опыте, повторяя те же наблюдения.

Результат наблюдения. Так как промежутки эмиттер-база и коллектор-база, как было показано в соответствующих опытах, ведут себя как обыкновенные диоды, в этом эксперименте также происходит выпрямление переменного тока.

Выводы. Получаем те же выводы, что в опыте 21.

23. Влияние зарядного конденсатора в схеме диодного выпрямителя

Постановка опыта. Используем схему по рис. 17 и 18, возвращая германиевый диод на свое место. Замыкая выключатель, отметим величину отклонения стрелки гальванометра. Подключив теперь другой, оставленный отсоединенным, конец электролитического конденсатора C (емкостью 30 мкф) к резистору R , заметим, что отклонение стрелки гальванометра значительно увеличилось. Следовательно, ток усилился и напряжение на R повысилось. В этом опыте надо непременно следить за тем, чтобы плюсовой конец электролитического конденсатора C был подключен к верхнему концу резистора R (причем полярность диода должна быть как на схеме!), а то могут испортиться конденсатор C и диод D .

Результат наблюдения. При отсутствии конденсатора через резистор текут импульсы тока, величина которых колеблется между нулем и некоторым максимальным значением полупериода переменного тока. При параллельном подключении конденсатора C импульсы заряжают конденсатор во время полупериода тока, проходящих через диод. В промежутках времени, когда диод заперт, напряжение на конденсаторе, а также на резисторе R не успевает падать до нуля, так как, вследствие оставшегося на конденсаторе заряда, остается некоторый остаток напряжения. Благодаря этому среднее значение постоянного напряжения на резисторе R теперь больше, чем без конденсатора. Вместе с этим увеличивается ток в цепи. Форма кривой тока уже не похожа на полуволну синусоиды. Пульсация тока уменьшилась, постоянная составляющая тока, вследствие сглаживающего действия конденсатора C , увеличилась.

Выводы. Применением конденсатора можно получить большие значения постоянного напряжения.

24. Сглаживание пульсации выпрямленного напряжения

Постановка опыта. Используем схему по рис. 17 и 18 и добавим телефон T , включив его параллельно резистору R . При отсутствии соединения между C и R в телефоне слышится громкий шум. Если же подсоединить к резистору R конденсатор C , то несмотря на то, что при этом напряжение повысится, шум значительно ослабнет.

Результат наблюдения. Чем больше колебания (пульсация) напряжения на концах резистора R , тем сильнее возбуждается мембрана телефона, тем громче тон. Из факта, что тон значительно уменьшился при подключении конденсатора, делаем вывод, что пульсация значительно уменьшилась.

Выводы. С помощью электролитического конденсатора, имеющего большую емкость, удается значительно успокоить или сгладить сильно пульсирующее напряжение, т. е. можно уменьшить переменную составляющую выпрямленного тока. При этом, одновременно, поднимается напряжение. Поэтому конденсатор находит широкое применение, если стремятся получить по возможности «чистое» выпрямленное напряжение без заметной переменной составляющей.

25. Маленький зарядный выпрямитель

Постановка опыта. Из деталей ящика экспериментирования легко можно построить практически используемый выпрямитель для зарядки малых аккумуляторных батарей, монтируя его по рис. 19 и 20. Такой выпрямитель может дать ток до 10 ма , что достаточно для зарядки миниатюрных никель-кадмиевых аккумуляторов, и может быть использован также для восстановления («освежения») сухих батарей. В отличие от прежних схем вместо батареи в схему включается пустая панелька A с зажимами для

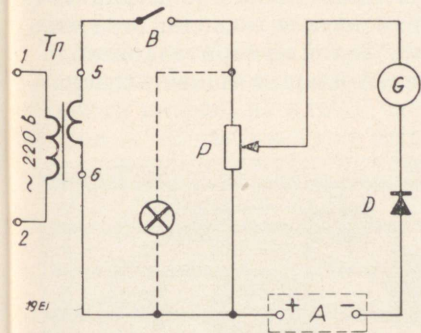


Рис. 19.

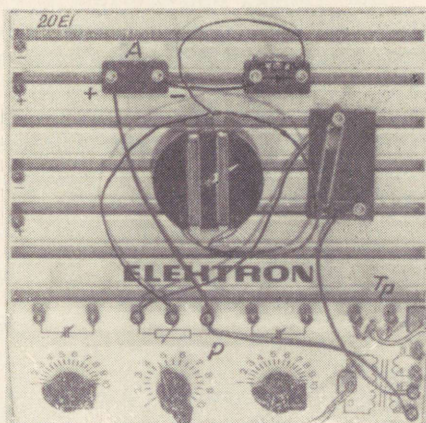


Рис. 20.

подключения заряжаемого аккумулятора. Напряжение с зажимов 5 и 6 трансформатора Tp подводится через выключатель B к потенциометру P , с помощью которого имеется возможность плавной регулировки напряжения и тока заряда. Ток заряда контролируется с помощью гальванометра G , включенного в цепь зарядки. Плюс-зажим заряжаемой батареи подключается к плюс-зажиму

панельки А, минус батареи — к минусу на А. Напряжение заряжаемой батареи для получения достаточно больших токов заряда не должно превышать 3 в. Следовательно, можно зарядить 2 миниатюрных накле-кадмиевых аккумулятора, включенных последовательно.

Результат наблюдения. Выпрямительное свойство германиевого диода создает возможность для построения выпрямителя, питаемого от сети, практически применяемого для зарядки аккумуляторов или восстановления сухих элементов батарей, если два элемента включить последовательно. Для этого плюс-зажим элемента также присоединяют к плюс-зажиму панельки А, а минус-зажим элемента — к минус-зажиму этой же панельки.

Выводы. Используя выпрямительный эффект полупроводниковых диодов, можно построить как миниатюрные, так и большие и мощные выпрямители и зарядные устройства. Существуют также полупроводниковые выпрямители на базе кремния, которые работают по тому же принципу, что и германиевые диоды.

26. Простой измерительный выпрямитель

Постановка опыта. При регулировке радиоприемников часто нужен измерительный прибор для измерения переменного напряжения на громкоговорителе или на первичной обмотке выходного трансформатора. Так, например, выходная мощность измеряется по максимальному показанию измерителя выхода, подключенного к зажимам громкоговорителя. Такой измеритель выхода легко собрать по рис. 21 и 22 из деталей нашего ящика экспериментирования.

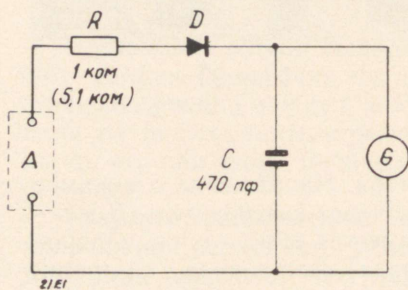


Рис. 21.

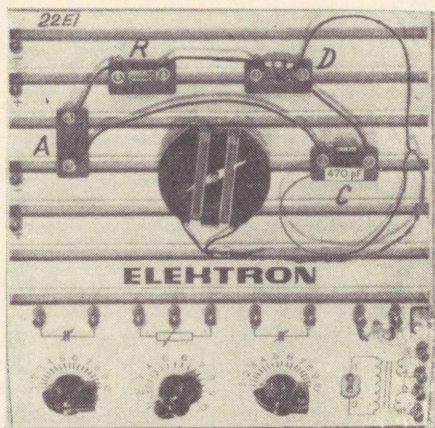


Рис. 22.

Как показано на рис. 21, применяется опять пустая панелька A с зажимами, последовательно соединенные резистор R , диод D и гальванометр G . Параллельно гальванометру включен бумажный конденсатор C (емкостью 470 нф) для высеивания переменных напряжений. Если теперь приложить к зажимам пустой панельки напряжение звуковой частоты, стрелка гальванометра отклонится в соответствии с величиной приложенного напряжения. Предел измерения можно изменять, подбирая величину сопротивления резистора R , равной либо 1 ком , либо $5,1 \text{ ком}$. При замыкании резистора накоротко устройство особенно чувствительно, но подвержено опасности перегрузки, если напряжение звуковой частоты выше $1 \dots 2$ вольт.

Ни в коем случае нельзя подключать большие постоянные напряжения к зажимам A (например, подключать наш измерительный выпрямитель в анодную цепь оконечной лампы приемника). Допускается измерение напряжения звуковой частоты на выходе приемника путем подключения прибора параллельно низкоомной обмотке выходного трансформатора. Более безопасно мерить параллельно зажимам низкоомного громкоговорителя.

Прибор оказывает хорошие услуги при регулировке и настройке радиоприемников и подобных устройств и может в некоторой мере заменить измеритель выходной мощности.

Результат наблюдения. С помощью германиевых диодов удается измерение переменных токов сравнительно высоких частот. Они дают постоянный ток, необходимый для получения показания на гальванометре.

Выводы. Многие, находящиеся в продаже измерители переменных токов и напряжений построены по аналогичной, изображенной на рис. 21 или 20 схеме. Большое достоинство этих приборов — независимость в широких пределах от частоты.

27. Пробник с германиевым диодом

Постановка опыта. Германиевый диод может быть использован также для измерения напряжений и токов высокой частоты. Принципиально пригодилась бы схема рис. 21 или 22. Однако более целесообразной оказывается схема, изображенная на рис. 23 и 24, так как она обеспечивает подключение измерительного прибора без возможности попадания на него постоянной составляющей измеряемого тока или напряжения. Часто в радиотехнических и электронных приборах в точке, где хотят произвести измерение, одновременно с переменным высокочастотным напряжением имеется более или менее высокое постоянное напряжение.

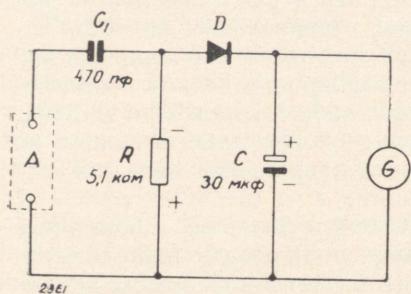


Рис. 23.

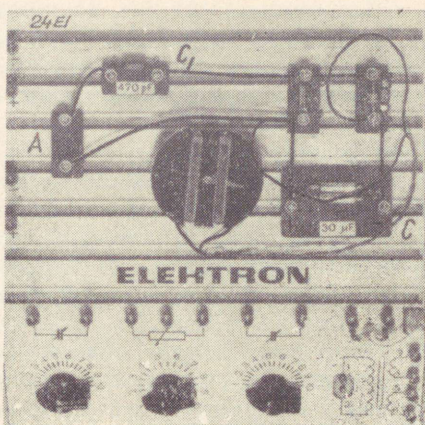


Рис. 24.

Поэтому измеряемое напряжение высокой частоты подводят к диодной цепи через бумажный конденсатор C_1 (емкостью 470 пф). В этой схеме положительный полупериод высокочастотного напряжения закорачивается малым проходным сопротивлением диода D , причем отрицательный полупериод сохраняется; вследствие чего на нижнем конце резистора R образуется положительный, на верхнем — отрицательный полюс. Постоянный ток в цепи диода течет через гальванометр G , который для сглаживания переменной составляющей зашунтирован электролитическим конденсатором C .

К зажимам панельки A подключается измеряемое напряжение высокой частоты, причем к верхнему зажиму присоединяется «горячий» конец, а к нижнему — заземленный конец.

Если величина измеряемого напряжения порядка нескольких вольт, гальванометр дает соответствующее отклонение стрелки.

Результат наблюдения. С точечным германиевым диодом возможно выпрямление высокочастотного напряжения, так как собственная емкость такого диода очень мала. Поэтому диод работает безукоризненно на частотах нескольких мегагерц.

Выводы. Благодаря свойствам точечных германиевых диодов они с успехом используются в качестве измерительного преобразователя для измерения высокочастотных переменных напряжений с помощью измерительных приборов постоянного тока. Поэтому в технике высоких частот изображенная на рис. 23 или 24 схема играет важную роль. При регулировке и настройке радиоприемников прибор по этой схеме также очень полезен.

Источники напряжения высоких частот не допускают подсоединения длинных проводов. Поэтому на практике прибор по схеме 21 (за исключением гальванометра) помещают в малогабаритный круглый кожух, образуя пробник. На кожухе имеются по возможности короткие зажимы, которые при измерении непосредственно подсоединяются к источнику высокочастотного напряжения. Так как к гальванометру подводится только постоянный ток, соединения пробника с гальванометром могут иметь любую длину.

Имея соответствующие детали (или используя детали ящика экспериментирования), может построить такой пробник.

28. Германиевый диод в качестве измерителя мощности

Постановка опыта. С помощью германиевого диода можно произвести косвенное измерение мощности. Расположение деталей и схема показаны на рис. 25 и 26.

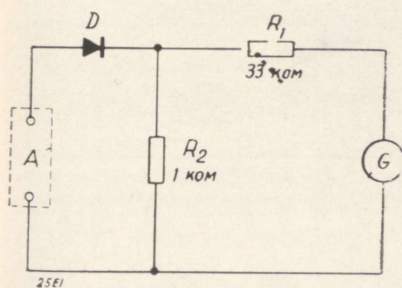


Рис. 25.

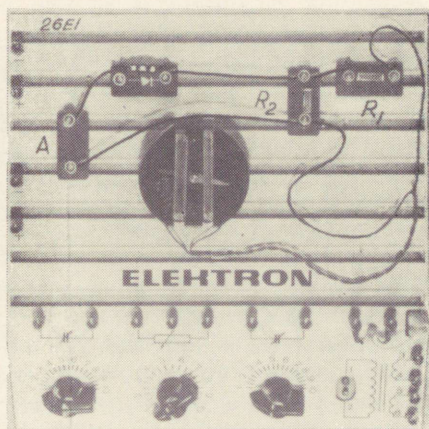


Рис. 26.

К зажимам A подключается источник тока, мощность которого хотят измерить. Ток течет через диод и создает на сопротивлении нагрузки (резисторе $R_2 = 1 \text{ ком}$) падение напряжения U . Искомая мощность, отдаваемая нагрузке, равна U^2/R_2 . Напряжение U измеряется с помощью гальванометра, включенного по схеме вольтметра. Для этого к гальванометру последовательно подключается резистор с большим сопротивлением $R_1 = 33 \text{ ком}$. Зная силу тока через гальванометр, напряжение вычисляют по закону Ома: $U = I \cdot R_1$. Последнее выражение вставляется в формулу U^2/R_2 и

таким образом мощность, потребляемую в резисторе R_2 нетрудно подсчитать. Эта мощность не совсем идентична с отдаваемой источником мощностью, но по крайней мере пропорциональна ей.

Результат наблюдения. С помощью германиевого диода можно произвести косвенное измерение электрической мощности.

Выводы. Так как германиевый диод работает в больших пределах независимо от частоты, он пригоден для измерения мощности высокочастотных напряжений. По описанному принципу работают измерители мощности источников высокой частоты.

29. Маленький абсорбционный волномер

Постановка опыта. Абсорбционные волномеры в практике радиотехнических и электронных измерений часто очень полезны. Они служат для быстрого определения частоты. С помощью деталей нашего ящика экспериментирования такой прибор собирают по схеме рис. 27 и 28. В ней используются обмотки 2 и 3 катушки

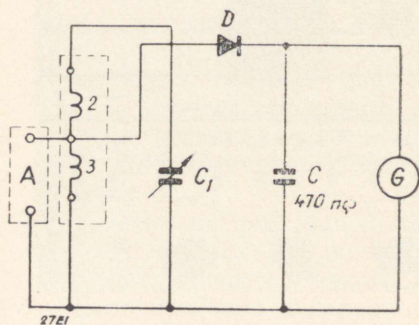


Рис. 27.

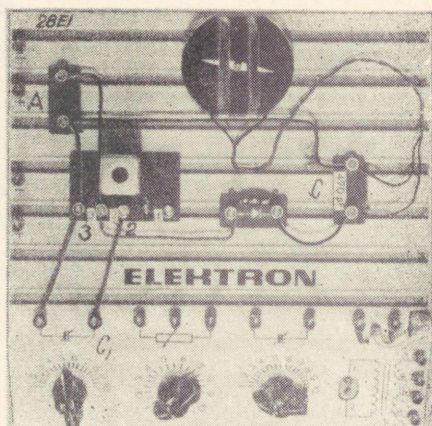


Рис. 28.

набора. Параллельно к внешним клеммам катушки 2-3 подключается переменный конденсатор C_1 . Средний зажим катушки идет от вывода обмотки. К этому выводу присоединяется диод, ток которого измеряется с помощью гальванометра. Параллельно гальванометру G включен бумажный конденсатор C для короткого замыкания остаточных токов высокой частоты. Измеряемый генератор высокой частоты подключается к зажимам A схемы, находящимся на пустой панельке. Для эксперимента используется лучше

всего высокочастотный испытательный генератор (сигнал-генератор), или, если нет такого, какой-нибудь генератор высокой частоты с возможно малым внутренним сопротивлением. Применяемая катушка вместе с переменным конденсатором переключает, примерно, радиовещательный диапазон частот от 500 до 1600 кГц. Если к входным зажимам A подключено напряжение высокой частоты, находящийся в упомянутом диапазоне, то, медленно вращая переменный конденсатор C_1 , можно наблюдать резкое отклонение стрелки гальванометра и ее возвращение в нулевое положение при продолжении вращения оси конденсатора.

При максимальном отклонении стрелки гальванометра колебательный контур волномера точно настроен на измеряемую частоту и ее величину можно отсчитать с предварительно откалиброванной шкалы переменного конденсатора. Для калибровки понадобится сигнал-генератор. Калибровка производится следующим образом. Генератор, включенный на вход волномера, ставится на определенные частоты. При каждой частоте волномер настраивается на максимум отклонения стрелки гальванометра и рядом с частотой записывается деление шкалы переменного конденсатора. Таким образом получают график калибровки, дающий значения частот, соответствующих градусам шкалы переменного конденсатора. Если располагают любительским передатчиком, для измерения достаточно ставить катушку волномера поблизости от колебательного контура передатчика. Тогда, вследствие индуктивной связи, наводится достаточно большое напряжение в катушке волномера. При малых напряжениях источника высокой частоты необходима очень точная настройка волномера для получения заметного отклонения стрелки.

Конечно, волномер в нашем исполнении пригоден только для совсем грубых измерений, так как его гальванометр не имеет достаточной чувствительности. Однако при большой мощности источника он работает хорошо. Вместо гальванометра при модулированной высокой частоте можно использовать телефон-наушник.

Результат наблюдений. Если настроить колебательный контур в резонанс с измеряемой частотой, на контуре образуется максимальное значение напряжения, которое измеряется с помощью германиевого диода и гальванометра или телефона. Так как шкала волномера поддается калибровке непосредственно в значениях частот, получается прибор для определения неизвестных частот.

Вывод. Волномеры по описанному и испытанному здесь принципу серийно выпускаются промышленностью и служат для быстрого определения неизвестных частот при больших мощностях. Придавая волномеру комплект заменяемых катушек, можно создать возможность получения разных диапазонов измеряемых частот. Чувствительность волномера зависит главным образом от чувствительности стрелочного индикатора (гальванометра) и качества применяемого германиевого диода.

30. Германиевый диод в качестве детектора

Постановка опыта. Используем схему рис. 27 и 28 и включим в цепь вместо гальванометра G телефон T . К входным зажимам A подключим напряжение от модулированного передатчика или модулированного сигнал-генератора. При настройке с помощью переменного конденсатора на частоту передатчика или генератора в телефон слышится тон, соответствующий частоте модуляции. Максимальному отклонению стрелки гальванометра в предыдущем опыте соответствует здесь максимальная громкость тона в телефоне.

Результат наблюдения. При подаче модулированных высокочастотных колебаний на германиевый диод, обладающий односторонней проводимостью, ток в цепи приобретает форму импульсов, амплитуда которых изменяется в такт низкочастотным модулирующим колебаниям. Этот процесс называется детектированием.

Вывод. Способность к детектированию создала для германиевого диода широкую область применения в технике радиоприема. Германиевый диод в качестве детектора является незаменимой деталью во всевозможных радиоприемниках.

31. Простой одноконтурный диодный радиоприемник

Постановка опыта. Кто уже занимался построением радиоприемника, должен был заметить, что схемы рис. 27 и 28 представляют собой ничто иное, как простой детекторный приемник. Если к верхнему зажиму A подключим антенну, а к нижнему — заземление и произведем настройку, услышим, хотя бы слабо, в телефоне местную радиовещательную станцию. Следовательно, мы имеем дело с детекторным приемником прежних времен с той лишь разницей, что тогда вместо германиевого диода применяли кристаллический детектор. Германиевый диод во всяком случае лучше, так как он не требует кропотливой установки и регулировки чувствительности во время пользования и вообще дает лучшие результаты, чем кристаллический детектор. Качество антенны и заземления, конечно, играет главную роль в получении хорошего приема. Если расстояние до ближайшего радиопередатчика не превышает 20 км, можно еще пользоваться временными антеннами (например, железной крышей или громоотводом). Для больших расстояний необходима хорошая воздушная антенна. Этот приемник, конечно, не обладает большой избирательностью, так что возможно одновременно прослушивание нескольких станций, особенно вечером. Во всяком случае для приема мощной местной станции такой приемник вполне пригоден.

Для опыта присоединим антенну не к отводу катушки, а к концу обмотки 2. Тогда обнаружим, что избирательность стала еще хуже. При очень коротких антеннах и плохом заземлении надо испробовать, к каким концам катушки их присоединять для получения наилучших результатов.

То же самое рекомендуется для схемы в опыте 32.

Результаты наблюдений. Получаемое от антенны и заземления высокочастотное напряжение местного радиовещательного передатчика повышается при настройке колебательного контура в резонанс. При настройке происходит выбор (селекция) желаемой станции. Напряжение колебательного контура детектируется германиевым диодом так, что в телефоне будет слышаться передаваемая речь и музыка.

Выводы. Приемники подобного вида играли большую роль в прошлом и даже сегодня полностью не потеряли своего значения. Так как в них отсутствует усиление, хороший прием сильно зависит от качества антенны и заземления. Поскольку диодный приемник не требует сторонних источников питания, он всегда готов к работе, что может оказаться полезным. Однако эффективность диодного приемника очень ограничена.

32. Двухконтурный приемник местной станции (с германиевым диодом)

Постановка опыта. Малая избирательность предыдущей схемы по рис. 27 является большой помехой. Поэтому приступим к постройке другого, двухконтурного диодного приемника по рис. 29 и 30.

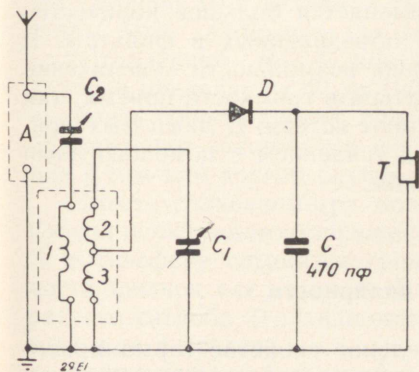


Рис. 29.

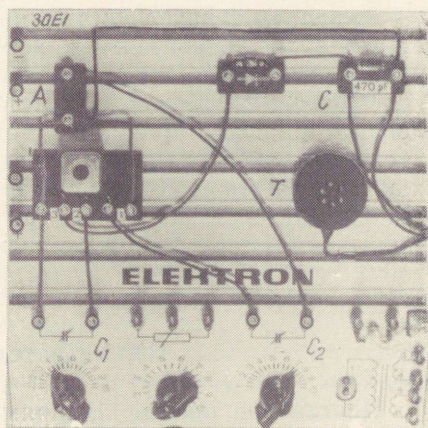


Рис. 30.

Первый контур состоит из переменного конденсатора C_1 (на краю слева, на передней панели шасси) и обмотки 2-3, включенных таким же образом, как на рис. 27. Зато антенна уже не подключается к среднему выводу обмотки 2-3, а через переменный конденсатор C_2 (на шасси крайний справа) к началу обмотки 1. Конец этой обмотки заземляется. Обмотка образует вместе с переменным конденсатором C_2 и антенной емкостью, (а также с индуктивностью антенны) второй колебательный контур.

После присоединения антенны и заземления приемник готов к работе. Сперва его настраивают на максимум громкости. Обращение с приемником, как видно, усложнилось, зато он стал намного более избирательным. Заметно, что при приеме одной и той же станции положение органов настройки сильно зависит от используемой антенны. Антенна не должна быть слишком длинной, а то не удастся настроить конденсатором C_2 — максимум громкости будет за крайним положением конденсатора. То же самое при слишком короткой антенне — максимум может оказаться за другим крайним положением C_2 . Длина антенны также немного влияет на настройку контура с переменным конденсатором C_1 , так как связь между обмотками 1 и 2-3 сравнительно сильна. Лучше всего испробовать антенны разной длины, чтобы найти самую подходящую.

Повышение избирательности вызывает некоторую потерю в громкости приема, так как в обоих контурах имеются потери энергии, которые должны покрываться энергией антенны. Зато увеличение избирательности значительное.

Результат наблюдений. Применение двух колебательных контуров в значительной мере улучшает избирательность диодного приемника. Зато усложняется настройка и увеличивается зависимость от длины антенны. Немного теряется громкость приема.

Вывод. Избирательность приемника растет с количеством настраиваемых колебательных контуров. Поэтому в современных радиовещательных приемниках применяется большое количество колебательных контуров, частично объединенных в фильтры. В простом диодном приемнике, однако, возможности увеличения числа контуров ограничены из-за потери в громкости приема, так как с количеством контуров возрастают потери. В ламповых приемниках это не играет роли, так как усилением с помощью ламп можно эти потери покрыть с излишком.

33. Указатель полярности

Постановка опыта. Выпрямительное свойство германиевого диода можно использовать для построения простого, но довольно практичного указателя полярности. Монтаж и схема изображены

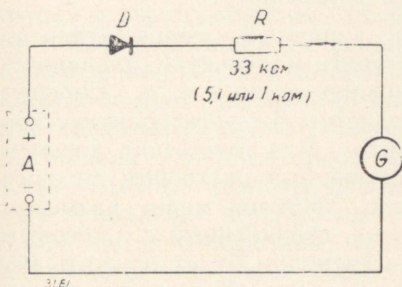


Рис. 31.

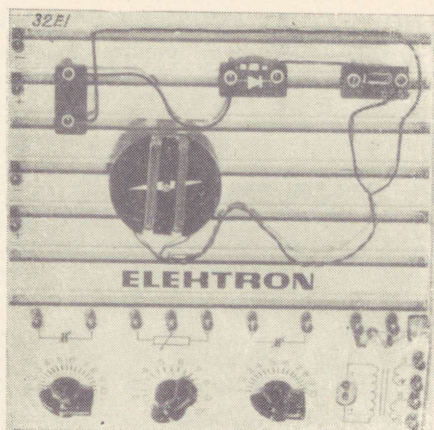


Рис. 32.

на рис. 31 и 32. К зажимам *A* пустой панельки присоединяются последовательно включенные германиевый диод *D*, резистор *R* и гальванометр *G*. В этом контуре течет ток, который обнаруживается гальванометром только в том случае, если плюсовой конец испытуемого напряжения подключен к верхнему зажиму *A*. Следовательно, если подключить источник тока неизвестной полярности к зажимам *A* и гальванометр при этом отклоняется, это показывает, что провод источника тока, присоединенный к верхнему зажиму *A*, является полюсовым проводом. Если гальванометр не отклоняется, то это указывает на то, что верхний провод минусовый. Конечно, напряжение должно быть достаточно большим для получения заметного отклонения стрелки. В данном случае при напряжении 10 в величина тока 0,3 ма, чего как раз достаточно, чтобы быть заметным на гальванометре. Поэтому резистор с сопротивлением $R=33$ ком годится только, если напряжение лежит в пределах от 50 до 100 в. При меньших напряжениях лучше брать сопротивление, равное 5,1 или 1 ком. Простой расчет с применением закона Ома показывает, как подбирать сопротивление в том или другом случае.

Вместо гальванометра можно брать телефон. Если плюсовой провод испытуемого напряжения присоединить к верхнему зажиму *A*, в телефоне слышится громкий щелчок. При обратной полярности щелчок еле заметен. Для определения наиболее целесообразного способа (гальванометром или телефоном) надо испытывать и то и другое.

Результаты наблюдений. Германиевый диод пропускает ток только в одном направлении. Определив этот ток с помощью из-

мерительного прибора, можно построить испытатель полярности, базирующийся на выпрямительном свойстве германиевого диода.

Вывод. Испытатели полярности описанного принципа практичны и просты.

34. Гальваническая установка

Постановка опыта. Используя зарядный выпрямитель по рис. 19 и 20 (опыт 25) можем построить маленькую гальваническую установку для омеднения, никелирования и т. д. Соберем вышеуказанную схему и соединим зажимы *A* с электролитической ванной, которую нетрудно изготовить. Для омеднения возьмем стакан или стеклянную банку с насыщенным раствором медного купороса. Подготовим также кусок листовой меди размером 20×50 мм и припаем к нему провод, соединенный с плюсовым зажимом панельки *A*. Минусовым электродом будет служить металлический предмет, который хотим омеднить. К нему прикрепим провод, соединяемый с минус-зажимом панельки. Перед погружением в раствор медного купороса омедняемый предмет и кусок медного листа (анод), соединяемый с плюсом, должны быть совершенно чистыми и обезжиренными.

Отрегулировав потенциометром *P* какое-нибудь среднее значение тока, некоторое время наблюдаем предмет, подвергаемый омеднению. На котором постепенно появляется коричневатый слой меди. Когда слой будет иметь достаточную толщину, вынем предмет и отполируем его до появления блеска. Подобным же образом можно никелировать, серебрить и т. д. Ток не должен быть слишком сильным, так как иначе образующийся слой металла будет зернистым, хрупким и будет лупиться. Надо обратить внимание на то, чтобы во время омеднения на предмете не образовалось пузырьков газа.

Вообще токи, получаемые от нашего зарядного выпрямителя, настолько слабы, что перегрузка фактически невозможна.

Результат наблюдения. Германиевый диод преобразует переменный ток в постоянный. Под действием постоянного тока можно осаждать на погруженных в электролит металлических предметах, служащих катодом, ионы металлов (меди, серебра, хрома и т. д.)

Выводы. Так как в осветительных и силовых сетях везде переменный ток, то для электролитических и гальванопластических работ требуется устройство, которое способно создать необходимой мощности постоянный ток из переменного. Для этой цели лучше всего подходят полупроводниковые выпрямители, например, германиевые диоды. В существующих гальванических установках пользуются также селеновыми и некоторыми другими типами выпрямителей. Наряду с последними, все больше находят применение германиевые и кремниевые выпрямители, построенные аналогично германиевым диодам, имеющие, однако, гораздо большую мощность.

35. Установка для получения водорода и кислорода

Постановка опыта. Для данного опыта используем ту же схему (рис. 19 и 20), что и в предыдущем.

В магазине лабораторных принадлежностей купим *U*-образную трубку и две подходящие пробки к ней. Эта *U*-образная трубка (рис. 33) заполняется примерно до 25 мм от верхнего края обыкновенной водой, к которой добавлено немного кислоты. В качестве кислоты достаточно нескольких капель аккумуляторной кислоты. Вместо кислоты можно к воде прибавить немного щелочи. В обе ветви *U*-образной трубки вставляются электроды — два кусака голого провода, которые протыкаются через пробку. Один электрод соединяется с плюсом, другой — с минусом панельки *A*, затем включают ток и регулируют его с помощью потенциометра *P* так, что на электродах начинается выделение газа — на отрицательном сильнее, на положительном слабее.

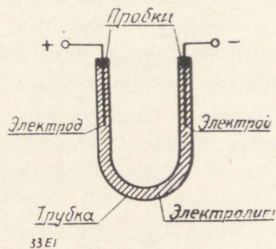


Рис. 33.

Оставим установку на некоторое время включенной; затем выключим ток, зажжем спичку, и держа ее над отрицательным электродом, вынем пробку. Маленький взрыв (который совершенно безопасен) покажет, что газ, выделившийся у отрицательного электрода, является водородом. Теперь, погасив спичку, вынем вторую пробку и быстро поднесем еще тлеющий конец спички к газу над положительным электродом. Спичка опять вспыхнет, что доказывает выделение кислорода у этого электрода.

Если теперь подключим электроды не к зажимам панельки *A*, а к обмотке *5-6* сетевого трансформатора, будет наблюдаться одинаковое выделение газа на обоих электродах, так как на каждом выделяется теперь и водород и кислород. У обоих электродов образуется теперь гремучий газ, который при зажигании вспыхнет.

Результат наблюдений. Как нам показал предыдущий опыт, постоянный ток, получаемый от германиевого диода, годится для электролиза. Одним из явлений электролиза является разложение воды на водород и кислород.

Вывод. Для электролитического способа получения водорода и кислорода целесообразно применять постоянный ток, получаемый от сети переменного тока с помощью соответствующего выпрямительного устройства. Для этого хорошо подходят выпрямители на германиевых диодах. В промышленных установках применяются более мощные типы полупроводниковых диодов.

36. Германиевый диод в качестве электронного выключателя или ограничителя

Постановка опыта. Германиевые диоды находят широкое применение в электронике в качестве электронных выключателей и ограничителей. Принцип действия электронного выключателя следующий: если приложить переменное напряжение к последовательно включенному резистору и диоду, то в цепи будет течь прерывистый постоянный ток. Если одновременно приложить к резистору достаточно большое противоположно направленное постоянное напряжение (смещение), которое способно подавить (компенсировать) полупериоды выпрямленного напряжения на резисторе,

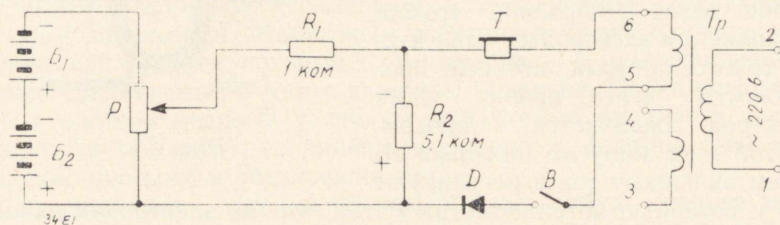


Рис. 34.

то ток исчезнет. Если еще увеличить напряжение смещения — тока в цепи тем более не будет. Если же амплитуда полупериодов превысит компенсирующее постоянное напряжение, то в цепи диода опять будет течь ток. Диод работает при определенном напряжении как выключатель тока. По сравнению с обыкновенными выключателями такой электронный выключатель имеет то преимущество, что выключение может быть вызвано определенными электрическими условиями.

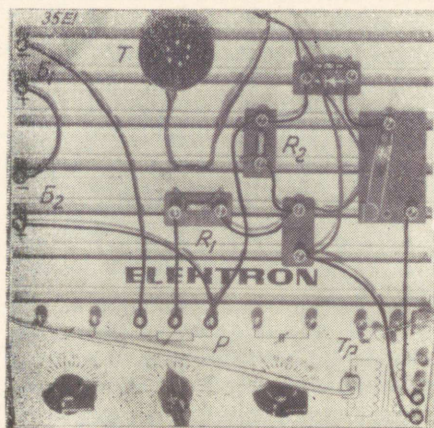


Рис. 35.

Для демонстрации действия электронного выключателя построим схему по рис. 34 и 35. Правая часть схемы представляет собственно диодный контур. Сеть переменного тока подсоединим с помощью сетевого шнура к первичным зажимам 1 и 2 трансформатора Tr . Напряжение 4 в проводим от зажима 5 через выключатель B ,

диод D и резистор $R_2 = 5,1$ ком к телефону T и обратно к зажиму 6 трансформатора.

Оставим схему в таком незаконченном виде и включим ток. В телефоне послышится сравнительно громкий шум (тон) от полупериодов выпрямленного переменного тока. После этого испытания выключим сеть и закончим схему согласно левой части рис. рис. 34 и 35. Батареи B_1 и B_2 включим последовательно так, чтобы получилось напряжение 9 в. Это напряжение подводим к потенциометру P . Плюсовой конец потенциометра присоединим к нижнему зажиму (+) резистора R_2 , скользящий контакт потенциометра через резистор R_1 — к верхнему зажиму R_2 . Чем дальше отодвинем скользящий контакт потенциометра в направлении его отрицательного конца, тем больше станет постоянное напряжение на R_2 , получаемое от обеих батарей. Диод получает теперь «смещение» в направлении запирающего. Если величину смещения отрегулировать так, чтобы она равнялась амплитуде полупериода переменного напряжения, оба напряжения взаимно компенсируют друг друга и суммарный ток равен нулю. Шум в телефоне исчезнет. Лучше всего начать с самого положительного напряжения потенциометра и вращать потенциометр медленно в направлении отрицательных значений. При совершенно определенном напряжении шум исчезнет; если вращать в этом направлении дальше, шум не возобновится. Начиная с этой точки смещение, действующее запирающим напряжением диода, преобладает над напряжением полупериода переменного тока и диод закрыт полностью. Только при постепенном понижении смещения диод «включает», т. е. пропускает полуволны переменного тока, что обнаруживается в виде шума в телефоне.

Вместо телефона в цепь диода можно включить гальванометр. Наблюдение положения точки включения тогда труднее, так как токи сравнительно слабы. Резистор R_1 предназначен для того, чтобы предотвратить короткое замыкание резистора R_2 в конечном положении скользящего контакта потенциометра, благодаря чему ток через диод стал бы чрезмерно большим.

Используя гальванометр, можем сделать еще следующий интересный опыт: оставив в остальной схеме прежней, переставим концы батарей так, что полярность напряжения на потенциометре переменится на обратную. Теперь уже невозможно найти положение потенциометра, при котором ток исчезал бы. Наоборот, в крайнем положительном положении потенциометра ток даже значительно больше, чем раньше. Из этого следует, что теперь постоянное напряжение потенциометра уже не противодействует, а складывается с напряжением положительной полуволны переменного тока. Суммарное напряжение возрастает, что обнаруживается в приращении тока через гальванометр.

Результат наблюдений. С помощью германиевого диода, к которому дается соответствующее смещение, можно осуществить

электронный выключатель, который при превышении произвольно выбранного рабочего напряжения, автоматически включается. Такие выключатели нашли широкое применение в электронике. Включаемый электронным выключателем ток можно пропустить через обмотку реле, контакты которого могут, например, включать предупредительный сигнал тревоги.

По аналогичной схеме германиевый диод используется в качестве автоматического ограничителя напряжения. Если включить диод параллельно источнику переменного напряжения, имеющему большое внутреннее сопротивление, и дать диоду смещение, запирающее его при определенном значении переменного напряжения, диод при повышении напряжения будет открываться и нагружать источник, не давая подниматься напряжению источника выше упомянутого определенного значения переменного напряжения. Таким образом, нагружая источник напряжения и вызывая падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника, диод препятствует повышению переменного напряжения. Такой способ ограничения напряжения на практике часто используется в приемниках с частотной модуляцией, в телевизорах и т. д.

Выводы. С помощью германиевого диода и подобных полупроводниковых выпрямителей можно построить электронные выключатели и ограничители напряжения. И те и другие приобрели в электронной радиотехнической практике большое значение.

37. Экономическое сигнализационное устройство

Постановка опыта. Дешевый и кажущийся скромным германиевый диод может при умелом применении сэкономить много материала. Если, например, требуется передача двух разных произвольно выбираемых сигналов на большое расстояние, необходимо иметь не менее трех проводов. Если расстояние составляет несколько километров, стоимость провода довольно значительна. С помощью германиевых диодов можно обойтись без третьего провода, что и должен доказать настоящий опыт. Схема его дана

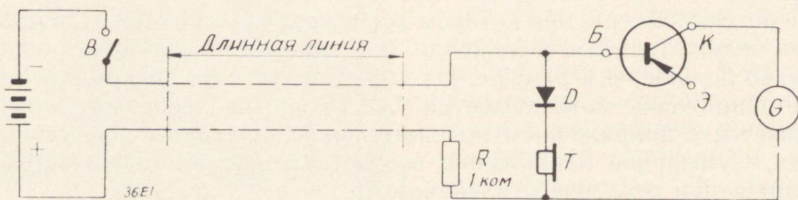


Рис. 36.

на рис. 36 и 37. Левая часть схемы представляет собой «передающую станцию», состоящую, в основном, из батареи и выключателя. Справа на схеме изображена «приемная станция», в которой должны появляться оба, различающиеся между собой, сигнала. Одним сигналом должно быть отклонение гальванометра, другим — щелчок, слышимый в телефоне. В схеме требуется два диода. В качестве второго берем промежутки база-коллектор нашего транзистора, работающего также в качестве диода. Схема построена таким образом, что диод *D* при выбранной в схеме полярности батареи работает в запиорном направлении, диод в транзисторе — в пропускном направлении. Телефон *T* и гальванометр *G* одним концом присоединяются к резистору *R*, служащему защитным сопротивлением. Длина проводов между передающей и приемной станциями может быть любой.

При нажатии на выключатель отклоняется стрелка гальванометра, а в телефоне не будет сигнала, так как диод *D* заперт (транзисторный диод открыт). Желая теперь дать другой сигнал, изменим полярность батареи. Тогда диод будет открыт, а транзисторный диод заперт — гальванометр не будет давать отклонения, зато в момент нажатия на выключатель в телефоне будет слышен громкий щелчок.

Конечно, вместо гальванометра и телефона можно взять обмотки реле, контакты которых могут включать любые виды сигнала.

Результат наблюдения. С помощью двух включенных в противоположных направлениях германиевых диодов возможно передать два отличающихся друг от друга сигнала по двум проводам. В зависимости от полярности напряжения батареи «передатчика» передается один или другой сигнал.

Вывод. Применением сравнительно дешевых электронных схемных элементов можно упростить схему и сэкономить средства.

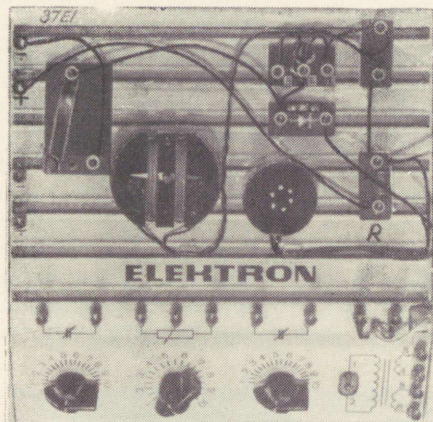


Рис. 37.

38. Реле времени с германиевым диодом

Постановка опыта. Соберем схему по рис. 38 и 39, которая в некоторой мере похожа на схему, изображенную на рис. 34 и 35. Правая часть схемы состоит из источника переменного напряже-

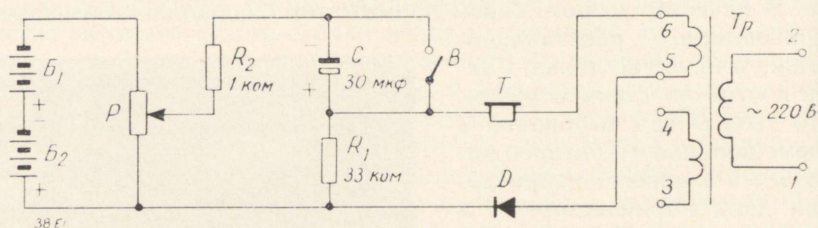


Рис. 38.

низ 5-6 (4 в обмотка сетевого трансформатора Tp), диода D , резистора $R_1 = 33 \text{ ком}$ телефона T . В этой цепи течет, как мы уже видели ранее, прерывистый постоянный ток, вызывающий слышимый в телефон тон. Левая часть схемы состоит из двух батарей B_1 и B_2 , соединенных последовательно и из потенциометра P , включенного параллельно батареям, с помощью которого можно выбирать подходящее напряжение. Это напряжение подводится через резистор $R_2 = 1 \text{ ком}$ и выключатель B к верхнему зажиму сопротивления R_1 , к нижнему зажиму которого присоединен положительный полюс батареи.

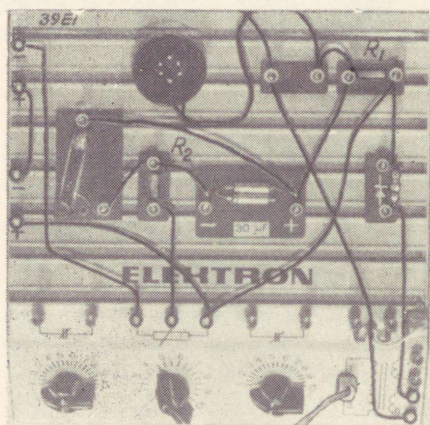


Рис. 39.

Кроме того, параллельно выключателю присоединен электролитический конденсатор $C = 30 \text{ мкф}$. Когда выключатель замкнут, тон в телефоне исчезает, так как диод получает от потенциометра смещение, которое запирает диод, так что через телефон ток не проходит.

Если теперь выключатель разомкнуть, то некоторое время ничего не изменится, потому что в первую очередь через резисторы R_1 и R_2 будет заряжаться конденсатор C . При этом продолжает течь ток через резистор R_1 , как и при замкнутом выключателе, вызывающий падение напряжения на этом резисторе, служащее за-

пирающим напряжением диода. По мере зарядки конденсатора C ток заряда, а следовательно и падение напряжения на R_1 будет убывать; наконец, смещение станет настолько малым, что диод начнет пропускать прерывистый ток (диод включает) и в телефоне слышится тон. Установка в целом представляет собой электронное реле времени, так как с момента размыкания выключателя до появления выпрямленного прерывистого тока проходит несколько секунд. Это время задержки определяется величиной емкости конденсатора C и сопротивлением резисторов R_1 и R_2 . Говорят о «постоянной времени». Чем больше упомянутые величины емкости и резисторов, тем дольше длится зарядка конденсатора C и тем больше время от размыкания выключателя до появления тона в телефоне. На длительность этого времени имеет влияние также величина постоянного напряжения (смещения). Чем больше напряжение смещения, тем дольше заряжается конденсатор C , т. е. тем больше задержка во времени.

Результат наблюдения. С помощью цепи, состоящей из резисторов и конденсатора (цепи задержки) можно, используя для этого германиевый диод, построить реле времени. При этом время задержки определяется величиной сопротивлений резисторов в цепи задержки.

Выводы. С помощью электронных выключателей можно включить какой-нибудь электрический процесс с задержкой во времени, что часто имеет большое значение на практике. Если в цепь диода (вместо телефона) включить обмотку реле, контактами его можно включить любой прибор или любую установку с задержкой во времени. Так как время задержки легко подбирается и регулируется, нетрудно ее приспособить к заданным требованиям. Электронные реле времени широко используются, например, в фототехнике при изготовлении фотокопий, при котором требуется точная выдержка времени. Имеются также приборы с электронными лампами, анодное напряжение которых нельзя подключать раньше некоторого времени после включения накала. При точечной сварке также играет роль выдержка определенного времени включения сварочного тока. Вообще существует много возможностей, когда применение электронного реле времени является выгодным.

39. Подавление помех от контактов с помощью германиевого диода

Постановка опыта. Выпрямительное свойство германиевого диода можно использовать для подавления радиопомех от электрических контактов. Общеизвестно, что все подвижные контакты, встречаемые в выключателях и в других электрических устройст-

вах, могут создавать сильные помехи радиоприему. Для устранения помех обыкновенно применяются конденсаторы. Устранение помех становится особенно эффективным, если для этой цели параллельно создающим помехи контактам выключателя подключить германиевый диод последовательно с защитным (ограничивающим ток через диод) сопротивлением, как указано на рис. 40. Диод должен при этом быть присоединен таким образом, чтобы остающееся в нем, после размыкания контактов выключателя, напряжение было бы в запирающем направлении. Если в цепи выключателя имеются индуктивности, то при размыкании контактов возникает пик напряжения в противоположном направлении. Этот пик напряжения и является причиной радиопомехи. Так как направление этого пика, по условию отпирает диод, то цепь тока через диод замыкается и пик «гасится». Выключатель, таким образом, уже не причиняет помех. На практике надо, конечно, обратить внимание на то, чтобы напряжение на (разомкнутом) выключателе не превышало максимально допустимого напряжения в запирающем направлении диода (т. н. пробивного напряжения диода), а также чтобы получаемый при размыкании контактов выключателя пик напряжения не вызывал недопустимо большой ток диода в пропускном направлении. Из предосторожности проведем этот опыт с низким напряжением (не от сети).

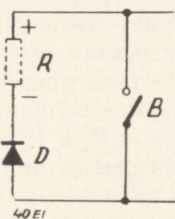


Рис. 40.

Результат наблюдения. Диод за счет выпрямительного свойства способен подавлять радиопомехи, вызываемые электрическими контактами при замыкании цепи.

Вывод. Вместо конденсаторов для подавления помех можно использовать германиевые диоды, если их пробивное напряжение достаточно высоко. При этом особенно ценно то, что затухание происходит аperiodически, т. е. при размыкании не возбуждаются колебания. При использовании конденсаторов для этой же цели могут возбуждаться колебания, если конденсатор совместно с некоторыми неизбежными индуктивностями схемы образуют колебательный контур с определенной собственной частотой. Когда по той или иной причине применение конденсаторов не помогает, можно с успехом использовать германиевые диоды.

40. Германиевый диод как элемент затухания

Постановка опыта. При обсуждении опытов 29 и 32 мы констатировали, что диод способен внести значительное затухание в колебательный контур. На основе схем упомянутых опытов проведем еще один опыт, пользуясь при этом частичной схемой на

рис. 41. Диод в этой схеме подключим теперь не к среднему выводу катушки 2-3, а к крайнему зажиму. Тогда затухающее влияние диода максимально и избирательность значительно ухудшается, потому что внесение затухания вызывает расширение полосы пропускания колебательного контура.

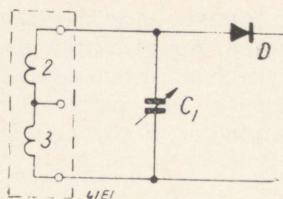


Рис. 41.

Результаты наблюдений. Внутреннее сопротивление германиевого диода действует таким же образом, как омическое сопротивление, увеличивая затухание контура.

Выводы. Затухание, вносимое германиевым диодом, не всегда вредно, а иногда является даже желательным. Например, в импульсной технике затухание колебательного контура часто задается и должно быть не меньше определенной величины. Кроме того, может потребоваться затухание только одного полупериода. Это легко выполняется с помощью германиевого диода, полярность которого выбирается соответствующим образом.

41. Светочувствительность германиевого диода

Постановка опыта. Запирающий слой германиевого диода чувствителен к свету. Если диод не имеет светонепроницаемого покрытия, можно построить простую схему по рис. 42. Обе наши батареи B_1 и B_2 включаются последовательно так, чтобы получить напряжение 9 в. Это напряжение прикладывается в запирающем направлении к диоду D , последовательно с которым включен телефон T .

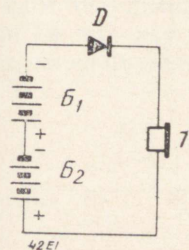


Рис. 42.

Если сильный источник света, например, питаемую сетью переменного тока мощную лампу накаливания приблизить к диоду, в телефоне слышится шум и тихий тон. Это означает, что свет действует на диод. Так как лампа накаливается переменным током, то сила света колеблется и в телефоне появляется тон с двойной частотой этого переменного тока.

Результат наблюдения. При освещении запирающего слоя германиевого диода замечается увеличение тока в запирающем направлении. Этот ток возникает вследствие освобождения носителей тока при освещении.

Вывод. Светочувствительность германиевых диодов в большинстве случаев нежелательное явление и поэтому диоды защищаются от света соответствующим покрытием. В некоторых случа-

ях, однако, этот фотоэффект сознательно используется, если, например, понадобится дешевый индикатор света. Фотоэлементы и фотоспротивления обыкновенно дороги, а германиевый диод дешев и не требует сложной схемы. Существуют специальные фотодиоды, в которых фотоэффект специально повышен.

42. Германиевый диод в качестве дистанционного термометра

Постановка опыта. В опыте 14 мы уже ознакомились с температурной чувствительностью германиевого диода. Во всяком случае требуется очень высокая температура для получения удобно измеряемого повышения тока в запиорном направлении, и поэтому проведем наш опыт только мысленно. Заменяем в схеме рис. 42 телефон гальванометром и нагреем диод. Тогда ток в запиорном направлении значительно возрастет, причем тем более, чем выше температура диода. На этом явлении основан принцип работы дистанционного термометра. Если шкалу гальванометра или другого какого-нибудь чувствительного индикатора проградуировать непосредственно в градусах температуры, получается электронный дистанционный термометр. Для построения дистанционного термометра по данной схеме на практике берется не германиевый диод, а термистор, который в электронике находит многостороннее применение.

Результат наблюдения. Температурная зависимость тока германиевого диода в запиорном направлении может быть использована для построения дистанционного термометра.

Вывод. Нормальные диоды обладают зависимостью тока в запиорном направлении от температуры. Однако, так как их при этом надо сильно нагреть, что их портит, они практически для этой цели не применяются.

Д. ОСНОВНЫЕ ОПЫТЫ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ТРИОДОМ

Полупроводниковые триоды (транзисторы) особенно хорошо подходят для проведения поучительных экспериментов, потому что схемы получаются сравнительно простыми. Требуется низкие напряжения питания, что также является удобным. Так же, как и в опытах с германиевыми диодами, рассмотрим вначале основные опыты.

43. Снятие выходной характеристики транзистора в схеме с общей базой

Постановка опыта. Соберем схему по рис. 43 и 44. Схему можно разделить на цепь эмиттера, состоящую из промежутка база-эмиттер, потенциометра P и батареи B_2 , и цепи коллектора, кото-

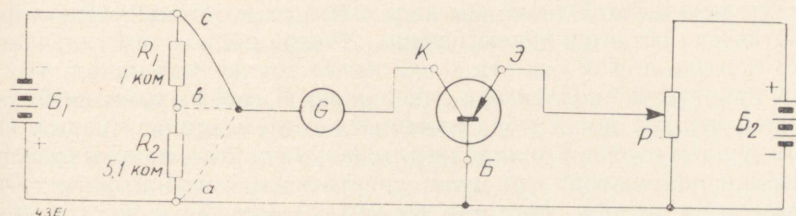


Рис. 43.

рая состоит из промежутка база-коллектор, гальванометра, резисторов R_1 и R_2 и батареи B_1 . Как видно, база является общим элементом обеих цепей, поэтому эту схему называют схемой с общей базой. Наиболее важной характеристикой транзистора, включенного по этой схеме, является зависимость коллекторного тока I_K от напряжения коллектора U_K . Для разных напряжений эмиттера U_ε получаются различные характеристики. Эти характеристики снимем в пределах возможностей нашего ящика экспериментирования.

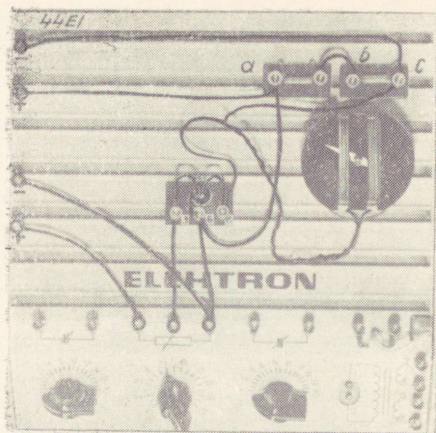


Рис. 44.

Мы наблюдаем сильное отклонение гальванометра. Учитывая то, что одному делению на шкале потенциометра соответствует около 0,4 в, мы видим, что ток коллектора имеет значительную величину уже при напряжении долей вольта между эмиттером и базой.

Для получения представления о характеристиках выбираем разные напряжения коллектора.

Присоединив гальванометр к точке *b*, имеем напряжение приблизительно 3,7 в. Однако мы видим, что от этого ток коллектора практически остается без изменения. Теперь подключим гальванометр к точке *a*. Так как эта точка имеет тот же потенциал, что и база, напряжение коллектора равно нулю. К своему удивлению замечаем, что ток коллектора изменился совсем незначительно. Из этого делаем вывод, что характеристика, начиная с максимального значения напряжения до нуля, практически горизонтальна, как показано на рис. 45. Повторяя эти наблюдения при других напряжениях эмиттера, для чего изменяем положение потенциометра *P*, заметим, что хотя среднее значение коллекторного тока будет соответственно выше или ниже, вид характеристики остается таким же. Ток коллектора практически почти не изменяется при подключении гальванометра к точкам *a*, *b* или *c*. Это показано на трех характеристиках рис. 45, которые сняты при трех различных напряжениях эмиттера. Чтобы не перегружать коллектор

Перед включением схемы или, еще лучше, уже перед началом ее монтажа, обязательно ставить потенциометр *P* в нулевое положение, чтобы избежать опасности перегрузки транзистора. Когда схема готова, подсоединяют гальванометр сперва к точке *c*. Тогда напряжение коллектора, получаемое от батареи *B1*, равно приблизительно 4,5 в. Теперь вращаем ключик потенциометра *P* медленно вправо. Уже с половинного или с первого деления шкалы

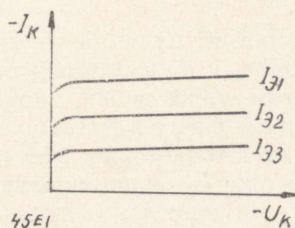


Рис. 45.

транзистора, никогда не следует на шкале потенциометра идти дальше деления 1,5.

Результаты наблюдения. Мы видим, что в схеме с общей базой достаточно малых напряжений между эмиттером и базой для того, чтобы вызвать сильный коллекторный ток. Этот ток, между прочим, почти идентичен току эмиттера, который также можем измерить, включая гальванометр в цепь эмиттера между эмиттером и подвижным контактом потенциометра. Зато ток коллектора в больших пределах не зависит от напряжения коллектора; он течет с неизменной силой даже при нулевом напряжении коллектора, так как он идет от эмиттера (ток коллектора исчезает при положительном потенциале коллектора, но это опасно и не рекомендуется в этом опыте). Мы заметили также то, что малейшие изменения напряжения эмиттер-база приводят к значительному изменению коллекторного тока.

Выводы. Характеристика тока коллектора в зависимости от напряжения коллектора транзистора протекает почти горизонтально, т. е. ток коллектора в широких пределах не зависит от напряжения коллектора. Таким образом, характеристика похожа на характеристику идеального пентода.

Из того, что в цепи эмиттера уже при малых напряжениях течет сильный ток, делаем вывод, что сопротивление промежутка эмиттер-база мало. Напротив, сопротивление промежутка коллектор-база значительно больше и ход характеристики горизонтален.

44. Снятие выходной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером

Постановка опыта. Соберем схему согласно рис. 46 и 47. Расположение деталей можем оставить как в предыдущем опыте. Нужно переставить только некоторые провода. Схема состоит из двух раздельных цепей: цепи, состоящей из базы-эмиттера, потенциометра P и батареи B_2 с одной стороны, и цепи коллектора-эмиттера, гальванометра G , резисторов R_1 и R_2 и батареи B_1

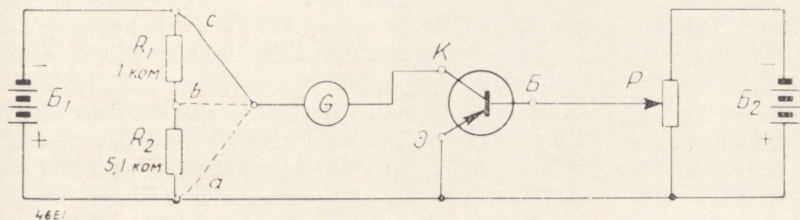


Рис. 46.

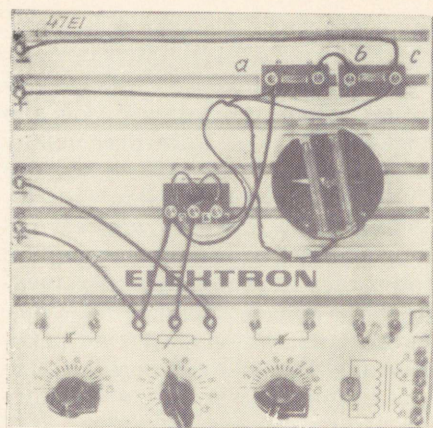


Рис. 47.

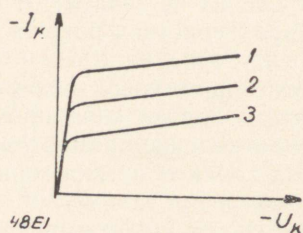


Рис. 48.

с другой стороны. В этой схеме общим элементом обеих цепей является эмиттер, и она называется поэтому схемой с общим эмиттером.

Обследуем эту схему таким же образом, как в опыте 43.

Следует только обратить внимание на то, что на этот раз перед соединением деталей ключик потенциометра надо повернуть в крайнее правое положение (на цифру 10), чтобы не портить транзистора. Присоединим конец гальванометра к точке *c*. Наблюдая за гальванометром, заметим (при медленном вращении ключика потенциометра влево) появление сильного отклонения стрелки. В этой схеме мы также ограничиваемся половинным или целым делением

шкалы (т. е. до цифры 9) потенциометра, чтобы не перегружать транзистора.

Если теперь присоединим гальванометр к точке *b*, заметим уменьшение тока коллектора; при соединении с точкой *a* — ток станет равным нулю. Видим, что схема ведет себя иначе, чем схема с общей базой.

Результаты наблюдения. Зависимость тока коллектора от напряжения коллектора намного больше, чем схеме с общей базой. Ток коллектора растет с возрастанием напряжения коллектора. Кроме того, ток при нулевом напряжении коллектора станет также равным нулю. Включая гальванометр между базой и подвижным контактом потенциометра, мы обнаружим сильную зависимость тока коллектора от тока базы. При этом заметим также, что ток базы очень мал; он несравнимо меньше тока коллектора.

Выводы. Опыт показывает, что характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером уже не горизонтальны, а более наклонны (см. рис. 48); ток коллектора растет с увеличением напряжения коллектора. Но все характеристики, как показал опыт, начи-

наются в нулевой точке. Изменением тока базы можем вызвать большое изменение тока коллектора, что тоже видно из семейства характеристик рис. 48. Из малой величины базового тока следует, что входное сопротивление этой схемы (сопротивление между базой и эмиттером) намного больше, чем в схеме с общей базой. Так как при этом сами характеристики транзистора имеют большую крутизну, выходное сопротивление в схеме с общим эмиттером должно быть меньше, чем в схеме с общей базой. Эти обстоятельства имеют большое практическое значение при применении транзисторных схем. Позднее мы увидим, что схема с общим эмиттером на практике имеет большее значение, чем схема с общей базой. Она вообще более выгодна.

45. Снятие выходной характеристики транзистора в схеме с общим коллектором

Постановка опыта. В этой схеме общим элементом входной и выходной цепи транзистора является коллектор. Схему соберем по

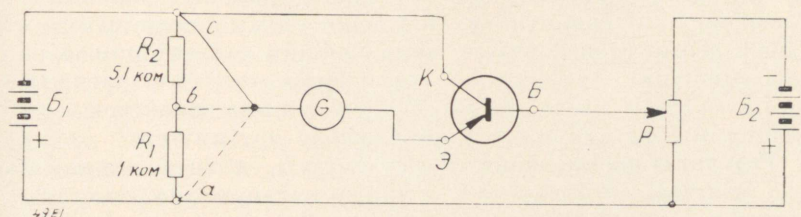


Рис. 49.

рис. 49 и 50. Мы видим, что в этой схеме от батареи B_2 можно дать базе B регулируемое напряжение относительно эмиттера. Коллектор присоединяется к минусовому выводу батареи B_1 , плюсовой вывод которой соединен с плюсом батареи B_2 . Здесь напряжения как бы сталкиваются. Перед проведением соединений схемы клювик потенциометра надо повернуть в крайнее правое положение (на цифру 10) во избежание порчи транзистора. В начале эксперимента

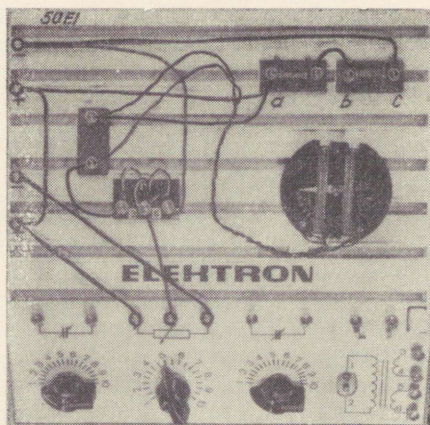


Рис. 50.

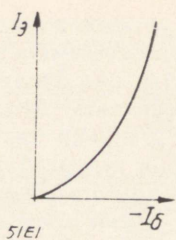


Рис. 51.

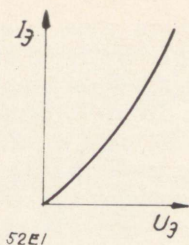


Рис. 52.

гальванометр подсоединим к точке *a*, а ключик потенциометра будем осторожно вращать влево. Уже на делении 9,5 шкалы потенциометра стрелка гальванометра начинает отклоняться, при дальнейшем вращении ключика, ток резко возрастает. Нанося в координатную систему значения тока эмиттера в зависимости от тока базы, полу-

чаем характеристику, похожую на кривую, изображенную на рис. 51. Зависимость эмиттерного тока от тока базы, как видно, сильная.

Теперь установим потенциометром определенное значение эмиттерного тока и переставим конец гальванометра в точку *b*, в которой напряжение более отрицательное, чем было в точке *a*. Стрелка сразу вернется на нуль, и, если соединить конец с точкой *c*, — тока подавно не будет. Мы видим, что уже малые изменения напряжения в цепи эмиттера вызывают значительное изменение эмиттерного тока. Поведение схемы в цепи выхода (выходной цепью транзистора в схеме с общим коллектором является цепь эмиттера) существенно отличается от обеих предыдущих схем в опытах 43 и 44. На рис. 52 показан вид характеристики зависимости тока эмиттера от напряжения на эмиттере.

Результат наблюдения. Констатируем сильную зависимость тока эмиттера от тока базы, а также сильную зависимость тока эмиттера от напряжения эмиттера. На входе, т. е. на стороне управления транзистором, течет только слабый ток базы. Вследствие этого входное сопротивление схемы с общим коллектором относительно больше, чем у схемы с общим эмиттером. Зато выходная цепь, вследствие сильной зависимости тока эмиттера от напряжения эмиттера, имеет малое сопротивление — всего несколько сот ом.

В этих опытах необходимо обращать внимание на возможность перегрева транзистора (см. выводы опыта 59).

Выводы. Относительно маленькое выходное сопротивление схемы с общим коллектором во многих практических случаях невыгодно. Встречается, однако, что иногда низкоомное выходное сопротивление является желательным, например, в случае необходимости согласования относительно высокоомного источника с низкоомным потребителем. Такой случай может быть, например, на входе мощных каскадов усилителей на транзисторах, токи в цепи базы которых большие. Для получения нужных токов управления от предыдущего каскада включают между ними и цепью управления (цепью базы транзистора мощ-

ного выходного каскада) каскад по схеме с общим коллектором. Тогда нетрудно согласовать выход управляющего каскада с низкоомным входом мощного каскада. Все же, схема с общим коллектором («эмиттерным повторителем») имеет много общего с ламповой схемой с общим анодом («катодным повторителем») и, по сравнению с другими схемами, менее важна.

46. Температурная зависимость остаточного тока транзистора в схеме с общей базой

Постановка опыта. С температурной зависимостью транзисторов мы уже ознакомились в опыте 18. Тогда мы, правда, исследовали только температурную зависимость диодных промежутков транзистора. Теперь еще раз построим схему опыта 43 по рис. 43 и 44. Подключим гальванометр к точке c и осторожно отрегулируем потенциометр P так, чтобы стрелка гальванометра дала малое, но хорошо заметное отклонение. После этого крепко обхватив оболочку транзистора теплыми пальцами будем наблюдать за стрелкой гальванометра. Через некоторое время, когда транзистор прогреется, заметим медленное увеличение отклонения стрелки. Если пальцы слишком холодны, можно провести эксперимент, осторожно приближая к транзистору теплый паяльник. Тогда ждать прогрева транзистора придется меньше. После получения отклонения гальванометра от прогрева, паяльник следует быстро удалить, чтобы не получилось перегрузки транзистора. Если после этого обхватить его плоскогубцами или холодными пальцами, можно наблюдать возвращение стрелки гальванометра в первоначальное положение. Повторяя этот опыт со схемой с общим эмиттером по рис. 46 и 47, увидим, что в ней температурная зависимость проявляется еще более резко.

Результат наблюдения. Если подвести к транзистору тепловую энергию, в нем освобождаются носители заряда, что вызывает повышение остаточного тока коллектора. Это явление в большинстве случаев нежелательно.

Выводы. На практике, вследствие температурной зависимости остаточного тока коллектора, поведение схемы, построенной на транзисторах, может полностью измениться, если не принять соответствующие меры. Это, прежде всего, мероприятия схемного характера. Так, например, с помощью отрицательной обратной связи или, применив температурно-зависимые резисторы (термисторы) и т. д., можно компенсировать вредные изменения, вызываемые температурной зависимостью транзисторов. Использовать температурную зависимость транзистора можно было бы пристройке электронного термометра, как было описано в опытах 14 и 18.

47. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному току в схеме с общей базой

Постановка опыта. Под коэффициентом усиления транзистора по току подразумевается отношение коллекторного тока к эмиттерному (в точном определении малых переменных токов). Это отношение можно определить с помощью схемы по рис. 43 и 44. Подключим сначала гальванометр к точке *c*, установим с помощью потенциометра удобно отсчитываемое среднее отклонение гальванометра и отметим величину отклонения. Тогда отключим гальванометр от цепи коллектора и соединим коллектор непосредственно с точкой *c*. Затем, прервав цепь эмиттера, включим гальванометр между эмиттером и подвижным контактом потенциометра. Получим отклонение гальванометра приблизительно той же величины. В действительности ток эмиттера будет даже немного больше (за счет базисного тока).

Результат наблюдения. Усиление по току в схеме с общей базой имеет величину меньше 1, потому что ток эмиттера немного больше коллекторного тока. Точные измерения тока показывают, что в хороших современных транзисторах усиление по току лежит в пределах от 0,9 до 0,98. Схемой с общей базой, таким образом, усиление тока невозможно. Вместо усиления тока получается наоборот — ослабление.

Выводы. Так как транзистор в схеме с общей базой не дает усиления по току, его нельзя ставить в схемы, в которых раньше работал точечный транзистор старого выпуска, который давал усиление по току больше 1. Это, однако, не значит, что схема с общей базой не имеет смысла, так как одна дает, как покажет следующий опыт, значительное усиление по напряжению.

48. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному напряжению в схеме с общей базой

Постановка опыта. Соберем схему по рис. 53 и 54. Она соответствует, в основном, схеме с общей базой рис. 43 и 44, с той лишь разницей, что здесь в цепь коллектора введено сопротивление $R = 1 \text{ ком}$. Перед монтажом следует ключик потенциометра *P*, с помощью которого устанавливается ток эмиттера, повернуть в крайнее левое положение. Если теперь этот ключик осторожно повернуть на 0,5 или 1 деление шкалы направо (не больше! — опасность разрушения транзистора!) появляется сильный ток коллектора. При достаточно положительном напряжении эмиттера этот ток практически ограничивается только небольшим сопротивлением промежутка коллектор-база и, вследствие этого, почти полное напряжение батареи B_1 лежит на резисторе *R*. Можно принять, что падение напряжения на *R* приблизительно равно

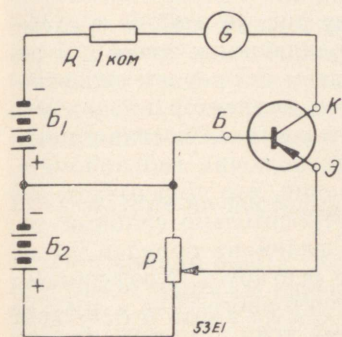


Рис. 53.

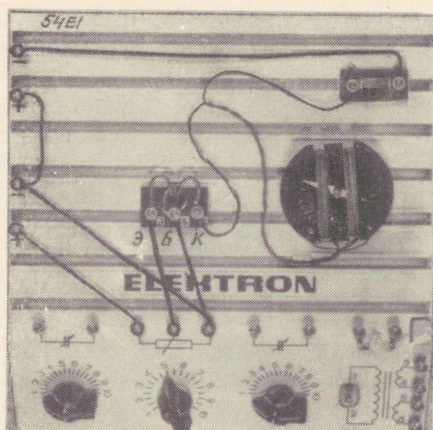


Рис. 54.

4 в. Но это падение напряжения вызвано совсем малым изменением напряжения эмиттера, которое для половинного деления потенциометра равно приблизительно 0,2 в (припомним, что одному делению шкалы потенциометра соответствует 0,4 в). Значит 0,2 в достаточно для появления упомянутого тока коллектора. На основании этого можем подсчитать коэффициент усиления по напряжению, который равен отношению падения напряжения на R к соответствующему напряжению на эмиттере. Итак, $4 : 0,2 = 20$, т. е. напряжение усиливается в 20 раз.

Результат наблюдения. Опыт показал, что схема с общей базой может дать хорошее усиление по напряжению, если в цепь коллектора включить нагрузочное (внешнее) сопротивление. Коэффициент усиления по напряжению равен отношению падения напряжения на внешнем сопротивлении к вызывающему его изменению напряжения эмиттера.

Выводы. Хотя схема с общей базой не дает усиления по току, с нею можно получить хорошее усиление по напряжению. Таким образом, эта схема способна и к усилению мощности, так как усиление мощности равно произведению усиления по напряжению и по току. В опыте 47 мы видели, что усиление по току равно 0,9, следовательно, имеем усиление по мощности, равное $0,9 \times 20 = 18$. Схема с общей базой, следовательно, обладает практическим значением, хотя у нее имеется и недостаток — низкое входное сопротивление (см. опыт 43). Из-за этого схема с общей базой, несмотря на хорошее усиление по напряжению и по мощности, редко применяется, так как низкое входное сопротивление во многих случаях невыгодно.

49. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному току в схеме с общим эмиттером

Постановка опыта. Используем схему рис. 46 и 47, т. е. схему с общим эмиттером. Гальванометр G подключим к точке c и регулируем ток до величины около 5 ма . Затем отключаем гальванометр от цепи коллектора и присоединяем коллектор проводом в точке c . Отключим провод от скользящего контакта потенциометра P и от базы B транзистора и вместо него включим гальванометр. Гальванометр не даст заметного отклонения, что доказывает, что базисный ток очень мал, несмотря на относительно сильный ток коллектора (5 ма). Базисный ток имеет величину порядка $0,1\text{ ма}$ и поэтому наш гальванометр на него не реагирует. Коэффициент усиления по току равен отношению коллекторного тока к току на входе, т. е. в данном случае, к базисному току. Таким образом коэффициент усиления по току в этой схеме равен $5:0,1 = 50$. Мы видим, что усиление по току в схеме с общим эмиттером значительно, что обусловлено слабостью базисного тока.

Результат наблюдения. Схема с общим эмиттером дает сравнительно большое усиление по току. Это во многих случаях имеет существенное значение.

Вывод. Так как схема с общим эмиттером дает большое усиление по току, она используется более широко, чем схема с общей базой. Она также, как показывает следующий опыт, дает значительное усиление по напряжению.

50. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному напряжению в схеме с общим эмиттером

Постановка опыта. Используем схему рис. 46 и 47, как в последнем опыте. Однако гальванометр подключим к точке b так, что R_2 будет служить сопротивлением нагрузки (выходным сопротивлением). Начнем с того, что, как в опыте 49, повернем ключик потенциометра до установки коллекторного тока величиной примерно 5 ма . Заметим, что для достижения этого тока требуется очень малое напряжение между базой и эмиттером. На R_2 при этом, как было установлено в опыте 37, получается падение напряжения примерно 4 в . Другими словами, для получения на выходном сопротивлении напряжения 4 в , на входе транзистора требовалось $0,2\text{ в}$ (половина деления на шкале потенциометра). Коэффициент усиления по напряжению, следовательно, равен $4:0,2 = 20$.

Результат наблюдения. Схема с общим эмиттером дает хорошее усиление по напряжению. Так как, кроме того, получается значительное усиление по току, усиление по мощности еще больше. При коэффициенте усиления по напряжению равном 20 и

коэффициенте усиления по току $= 50$, коэффициент усиления по мощности будет $20 \times 50 = 1000$.

Вывод. Схема с общим эмиттером дает усиление как по току, ток и по напряжению. Она может благодаря этому дать значительное усиление по мощности. Ее достоинством является также сравнительно большое входное сопротивление из-за малого базисного тока. Эти свойства схемы с общим эмиттером сделали ее наиболее распространенной в транзисторной практике.

51. Усиление по постоянному току в схеме с общим коллектором

Постановка опыта. Коэффициент усиления по току в схеме с общим коллектором равен отношению тока эмиттера к току базы. Используем схему по рис. 49 и 50 и подключим гальванометр G к точке a . Если теперь осторожно вращать ключик потенциометра P , то скоро появится сравнительно большой ток эмиттера. Удалим теперь гальванометр из цепи эмиттера, присоединим эмиттер \mathcal{E} к точке a с помощью провода, далее удалим провод, соединяющий базу транзистора со скользящим контактом потенциометра, и включим вместо этого провода в цепь базы гальванометр. От этого ток в цепи эмиттера не изменится, а останется таким, каким его замерили гальванометром; зато ток в цепи базы настолько мал, что гальванометр на него не реагирует. Коэффициент усиления по току имеет величину того же порядка, как в схеме с общим эмиттером в опыте 49.

Результат наблюдения. Схема с общим коллектором дает значительное усиление по току, подобно схеме с общим эмиттером.

Вывод. Большое усиление по току транзистора в схеме с общим коллектором в некоторых случаях (упомянутых уже в опыте 45) очень желательно. Хотя, как будет показано в следующем опыте, транзистор в схеме с общим коллектором не дает усиления по напряжению, усиление мощности все же происходит.

52. Усиление по постоянному напряжению в схеме с общим коллектором

Постановка опыта. Используем опять схему по рис. 49 и 50, но гальванометр присоединим в точке b . Теперь резистор R_1 в цепи эмиттера является внешним (нагрузочным) сопротивлением схемы. Вращая ключик потенциометра P , замечаем, что требуется уже значительно большее напряжение на базе, чтобы получить заметное отклонение стрелки гальванометра. Мы можем без опасения вращать ключик дальше до крайнего положения, так как ток ограничивается сопротивлением эмиттера. Если полное напряжение батареи B_2 , т. е. 4,5 в, приложено между базой и эмиттером, то на резисторе R_1 падает примерно, такое же напря-

жение от батареи B_1 . Следовательно, коэффициент усиления по напряжению не больше единицы, в большинстве случаев он даже меньше.

Результат наблюдения. Транзистор в схеме с общим коллектором не дает усиления напряжения, но с этой схемой возможно усиление мощности, так как в ней получается значительное усиление по току. Входное сопротивление схемы относительно большое. Как уже упоминалось, схема с общим коллектором используется в случае, если необходимо согласовать источник напряжения с высокоомным внутренним сопротивлением, с потребителем, имеющим низкоомное входное сопротивление, так как выходное сопротивление схемы с общим коллектором очень мало.

Вывод. Усилительные свойства схемы с общим коллектором то же, что у ламповой схемы с общим анодом (у катодного повторителя).

Е. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТРИОД В УСИЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМАХ

Особенно большое применение транзисторы находят в области усилительных схем. Транзистор всегда ведет себя как усилитель мощности, потому что его входное сопротивление никогда не может быть бесконечно большим. В этом мы убедились из предыдущих опытов. К входу транзистора всегда необходимо подводить некоторую мощность, причем на выходе транзистора всегда отдается соответственно усиленная мощность. Этим усилители на транзисторах существенно отличаются от усилителей на радиолампах. Последующие опыты покажут нам принцип действия различных усилительных схем на транзисторах.

53. Трансформаторный усилитель на транзисторе в схеме с общей базой

Постановка опыта. Усилитель собирают по схеме рис. 55 и 56. Знакомый нам уже по прежним опытам сетевой трансформатор *Tr* используем теперь в качестве звена связи на входе усилителя. К обмоткам 1-2 или 3-4 подключается в дальнейшем усиливаемое напряжение, которое в трансформаторе понижается и снимается затем с зажимов 5-6 трансформатора, к которым подключается цепь эмиттера. Один конец соединяется непосредственно с эмиттером, другой — подсоединяется к подвижному контакту потенциометра *P*, с помощью которого подбирается оптимальное рабочее напряжение транзистора. Между подвижным контактом потенциометра и минусовым концом батареи B_2 включается шунтирующий электролитический конденсатор *C* для подведения отрицательной обратной связи (обратить внимание на правильную полярность конденсатора *C*!). Резистор *R* служит лишь для защиты транзистора от перегрузки, чтобы эмиттер не мог получить более положительного потенциала, чем допустимо. Батарея B_2 дает напряжение эмиттеру, а батарея B_1 питает цепь коллектора с телефоном *T*.

Когда монтаж готов, подключаем к одной из обмоток 1-2 или 3-4 трансформатора напряжение звуковой частоты. Какая обмотка подойдет больше, зависит от внутреннего сопротивления источника звуковой частоты. Например, высокоомный проигрыватель целесообразнее подключить к обмотке 1-2, так как она представляет самый высокоомный вход. Напряжение при этом понижается в соотношении 55 : 1, что выгодно потому, что вход цепи эмиттера является низкоомным и только таким образом может быть согласован с высокоомным источником звуковой частоты. Если считать

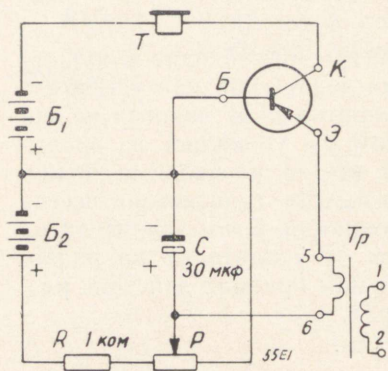


Рис. 55.

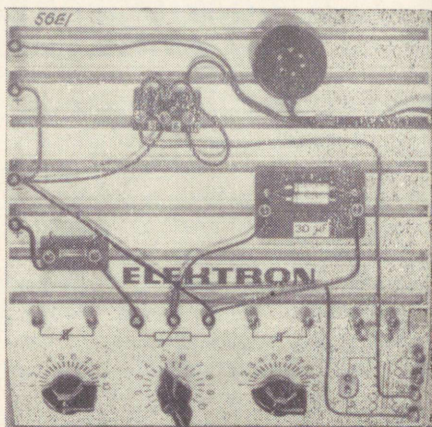


Рис. 56.

сопротивление эмиттерного входа равным 100 ом, то оно повышается трансформатором и оказывается на зажимах 1-2 равным $55^2 \times 100 \approx 300\,000$ ом; это сопротивление приближается к сопротивлению адаптера проигрывателя. После подключения на вход схемы напряжения звуковой частоты регулируем потенциометром напряжение так, чтобы получилась максимальная громкость и чистота звучания в телефоне. При отключении конденсатора *C* громкость значительно понижается, что является признаком появления отрицательной обратной связи. Если располагают источником напряжения звуковой частоты с более низким внутренним сопротивлением, например, низкоомным микрофоном или низкоомным выходом генератора звуковой частоты, их целесообразнее подключить к обмотке 3-4 трансформатора. Тогда соотношение трансформации только 6 : 1 и входное сопротивление цепи эмиттера 100 ом будет повышаться до $100 \times 6^2 = 3600$ ом на зажимах 3-4. Таким образом, мы располагаем в этой схеме некоторой возможностью подбора согласования. Динамические микрофоны можно включить в цепь эмиттера непосредственно, без трансформатора.

Результат наблюдения. Схема усилителя с общей базой дает при правильном согласовании выходного сопротивления источника низкочастотного сигнала с низким входным сопротивлением цепи эмиттера значительное усиление напряжения звуковой частоты.

Вывод. Схема с общей базой дает значительное усиление, но требует, однако, согласующего трансформатора для подачи управляющего напряжения в цепь базы-эмиттера.

Усилитель, построенный по этой схеме может быть применен для некоторых целей. При обсуждении результатов следующего опыта увидим, что схема с общим эмиттером существенно превосходит по своим возможностям схему с общей базой.

54. Трансформаторный усилитель на транзисторе в схеме с общим эмиттером

Постановка опыта. Построим схему по рис. 57 и 58. Понадобятся те же детали, что в предыдущем опыте. Схема 57 требует, однако, тщательного согласования входного контура с источни-

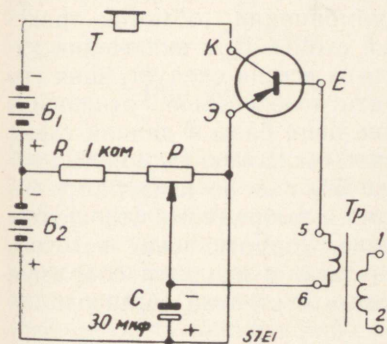


Рис. 57.

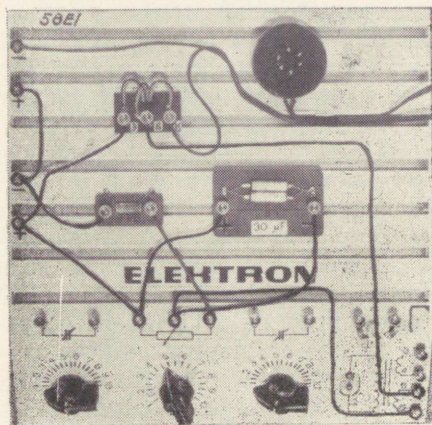


Рис. 58.

ком звуковой частоты. Точка 5 трансформатора T_p подключена непосредственно к базе, точка 6 — к подвижному зажиму потенциометра P , который служит для подбора рабочей точки, причем резистор R препятствует чрезмерному повышению отрицательного напряжения базы.

Во избежание отрицательной обратной связи применяется, как в предыдущем опыте, шунтирующий конденсатор C . В цепи кол-

лектора находится телефон T , питаемый от батареи B_1 . Эту батарею можно даже упустить, присоединив один конец телефона к минусу батареи B_2 . От этого громкость понижается незначительно.

Когда схема готова, присоединяют к одной из обмоток трансформатора 1-2 или 3-4 источник звуковой частоты и регулируют громкость и качество звучания, как в предыдущем опыте, с помощью установки потенциометра P .

Убеждаемся, что эта схема чувствительнее и дает большую громкость в телефоне, чем предыдущая. Это можно было ожидать по результатам опыта 44. Мы также констатируем, что во входном трансформаторе требуется другое отношение трансформации для получения согласования. Цепь базы значительно более высокоомна, так что отношение трансформации при использовании обмотки 5-6 уже оказывается слишком большим. Конечно, это зависит от величины внутреннего сопротивления источника звуковой частоты. Если сопротивление источника звуковой частоты очень большое, то возможно получение лучшего согласования при подключении его к обмотке 1-2. Если же внутреннее сопротивление источника звуковой частоты не особенно велико, можно вместо обмотки 5-6 включить обмотку 3-4 в цепь базы и источник звуковой частоты подключить к зажимам 1-2. Отношение трансформации тогда приблизительно равно 10:1, которое пригодно для согласования с выходом предшествующего усилительного каскада (транзисторного или лампового). Мы можем испробовать всякие комбинации обмоток трансформатора без опасности для деталей схемы. При включении какого-нибудь источника звуковой частоты всегда следует, зная его внутреннее сопротивление, подсчитать необходимое отношение трансформации, причем сопротивление цепи базы в данной схеме можно принять равным 1000 ом. Расчет согласования можно производить таким образом, как в опыте 53, т. е. по известному сопротивлению цепи основания (1000 ом) и выбранному отношению трансформации подсчитать согласующее сопротивление источника и затем сравнить полученный результат с входным сопротивлением. Таким образом можно судить о степени согласования входа схемы с источником.

Результат наблюдения. Схема с общим эмиттером дает лучшее усиление и большую громкость, чем схема с общей базой. Согласование входной цепи транзистора с источником звуковой частоты, из-за другого отношения напряжений, отличается от согласования входного сопротивления при схеме с общей базой тем, что требуется другое отношение обмоток входного трансформатора.

Вывод. Выгодные характеристики схемы с общим эмиттером придают ей особое значение. Эта схема применяется почти во всех встречаемых на практике усилителях низкой частоты, например, в слуховых аппаратах, в микрофонных усилителях, в граммофонных усилителях, в усилителях радиовещательных приемников,

а также в больших усилителях мощности. Несмотря на это, входное сопротивление этой схемы, по сравнению с ламповыми схемами, низкое, так что от источника усиливаемого сигнала требуется некоторая мощность. Во многих случаях это не играет роли.

55. Трансформаторный усилитель на транзисторе в схеме с общим коллектором

Постановка опыта. Соберем схему по рис. 59 и 60. Цепь базы полностью соответствует изображенной на рис. 57 и 58 схеме, так

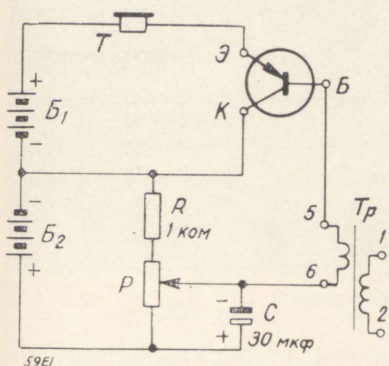


Рис. 59.

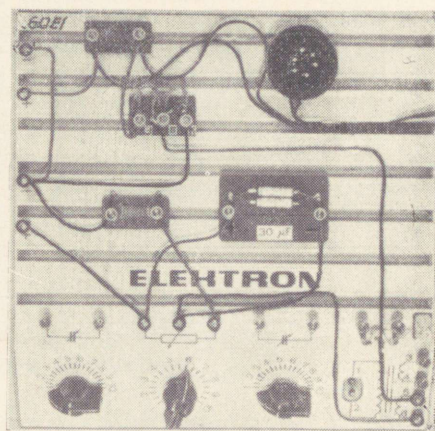


Рис. 60.

что она может остаться как в опыте 54. Только коллектор подключаем непосредственно к общему минусовому полюсу обеих батарей, а телефон включаем в привод, идущий от плюс-полюса батареи B_1 к эмиттеру Э. Все, что в предыдущем опыте было сказано о согласовании с помощью трансформатора, остается в силе и для этого опыта. Однако мы замечаем, что схема с обыкновенным телефонным наушником работает неудовлетворительно. Это вызвано плохим согласованием сопротивления высокоомного телефона с малым сопротивлением цепи эмиттера. На малое сопротивление цепи эмиттера в схеме с общим коллектором и вытекающих из этого неудобств было обращено внимание уже в опыте 45. Такая схема поэтому для нормальных целей непригодна.

Результат наблюдения. Схемы с общим коллектором значительно менее выгодна, чем схемы с общим эмиттером или общей базой (по крайней мере в таком виде, как изображено на рис. 59 и 60).

Вывод. Как уже упоминалось в опыте 45, схема с общим коллектором применяется только в специальных случаях.

56. Усилитель на резисторах и транзисторе в схеме с общей базой

Постановка опыта. Займемся теперь усилителями на резисторах, называемых также резисторно-емкостными усилителями или усилителями *RC*. Начнем со схемы с общей базой по рис. 61—62. В этой схеме управляющим электродом транзистора яв-

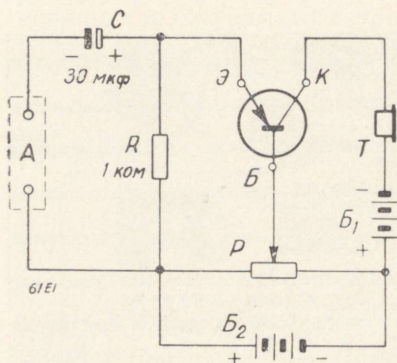


Рис. 61.

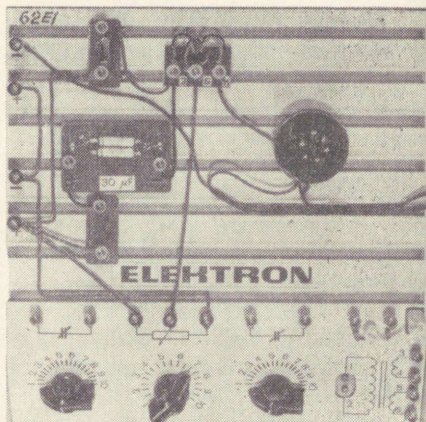


Рис. 62.

ляется эмиттер. В его цепь включен резистор R , сопротивление которого равно примерно 1 ком . Это сопротивление, по сравнению с сопротивлением утечки сетки в ламповых усилителях, очень мало. Однако это сопротивление нельзя увеличить, так как тогда падение напряжения от тока эмиттера стало бы чрезмерно большим. Рабочая точка транзистора устанавливается потенциометром P . Защитное сопротивление на этот раз отсутствует, так как внешнее сопротивление в цепи эмиттера само ограничивает чрезмерное увеличение тока. В цепи коллектора находится телефон. Напряжение усиливаемого сигнала подключается к зажимам A и подводится через конденсатор связи C непосредственно к эмиттеру. Конденсатор связи должен иметь большую емкость. В противном случае, из-за малого сопротивления эмиттера, будут плохо передаваться низкие частоты.

Когда схема готова, подключим к зажимам A источник напряжения звуковой частоты и установим потенциометром P максимум громкости при удовлетворительном качестве звучания. Результат будет тем хуже, чем большее внутреннее сопротивление источника звуковой частоты. Согласование ухудшается, так как входное сопротивление усилителя чрезвычайно мало. Возможность улучшения согласования с помощью трансформатора, как в

предыдущих схемах, здесь отсутствует. Наилучшие результаты дают низкоомные источники звуковой частоты.

Результат наблюдения. Усилитель на резисторах по схеме с общей базой работает удовлетворительно только с низкоомным источником звуковой частоты. В этом случае имеется возможность ввести в цепь эмиттера достаточно большое управляющее напряжение. С источниками звуковой частоты, имеющими высокое внутреннее сопротивление, например, со звукоснимателями и т. д., схема непригодна, так как в ней не предусмотрена возможность трансформации.

Вывод. По сравнению с трансформаторными усилителями усилитель на резисторах по схеме с общей базой имеет сравнительно мало деталей и его детали дешевы. Но из-за недостаточных возможностей согласования он годится только для низкоомных источников сигнала. Резисторные усилители могут, при выполнении из миниатюрных деталей, иметь очень малые габариты, благодаря чему они применяются в специальных приборах, например, в слуховых аппаратах. Однако в усилителях на резисторах применяется почти без исключения рассматриваемая в следующем опыте схема с общим эмиттером.

57. Усилитель на резисторах и транзисторе в схеме с общим эмиттером

Постановка опыта. Усилитель на резисторах в схеме с общим эмиттером нетрудно построить, руководствуясь рис. 63 и 64. Эмиттер подсоединен к плюсу батареи B_2 , в то время как в цепь

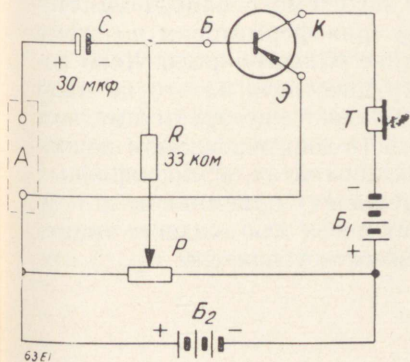


Рис. 63.

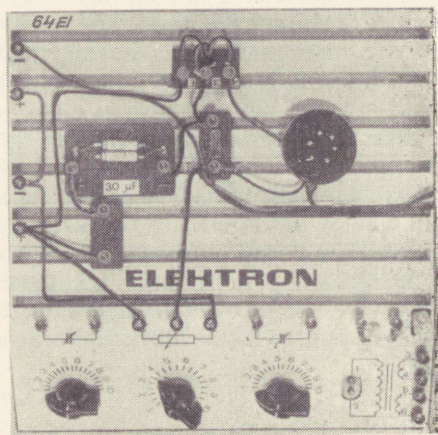


Рис. 64.

базы включен резистор R , сопротивление которого может быть большим (33 *ком*), потому что ток базы мал и не вызовет даже на большом сопротивлении заметного падения напряжения. Напряжение сигнала подключается к зажимам A и попадает на базу через электролитический конденсатор C . Установка рабочей точки производится потенциометром P . Телефон T находится в цепи коллектора. Здесь также не нужно иметь защитного сопротивления в цепи потенциометра, так как большое сопротивление в цепи базы само ограничивает чрезмерное увеличение тока.

Когда схема готова, включим ее и присоединим к зажимам пустой панельки A источник звуковой частоты. Заметим, что схема с общим эмиттером намного чувствительнее, как уже можно было ожидать по результатам опыта. Схема работает удовлетворительно также при более высоком внутреннем сопротивлении источника сигнала, так как входное сопротивление этой схемы выше. Однако, ввиду того, что в усилителе на сопротивлениях по схеме с общим эмиттером также отсутствует входной трансформатор, нет возможности для согласования входного сопротивления с выходным сопротивлением источника звуковой частоты и, при использовании кристаллических микрофонов, звукозаписывающих устройств и т. п., не будет полного согласования. Поэтому особо высокоомные источники напряжения сигнала в усилителях RC по схеме с общим эмиттером мало пригодны. Существуют специальные схемы, с помощью которых возможно приближенное согласование источника, однако, с потерей мощности сигнала. Громкость и качество звука регулируются, как в предыдущем опыте, с помощью потенциометра P .

Результат наблюдения. Чувствительность и усиление резисторного усилителя по схеме с общим эмиттером несравненно лучше, чем в схеме с общей базой. Однако, так как в ней отсутствует входной трансформатор, приходится работать в большинстве случаев с неполностью согласованным входным сопротивлением.

Вывод. Усилители на резисторах по схеме с общим эмиттером, так же как усилители с входным трансформатором по схеме с общим эмиттером, играют на практике большую роль. Хотя согласование связано с некоторыми трудностями, на это не надо обращать внимания, так как схема обладает еще преимуществом миниатюрности. Эта схема встречается (в многокаскадном исполнении) во всех современных слуховых аппаратах, в микрофонных усилителях, усилителях радиовещательных приемников и т. д. Особенно в тех случаях, где не хватает места для входного трансформатора или же лимитируется стоимость усилителя.

58. Усилитель на резисторах по схеме с общим коллектором

Постановка опыта. Усилитель на резисторах по схеме с общим коллектором не трудно построить по рис. 65 и 66. Цепь базы остается как в опыте 57. Коллектор подсоединен непосредственно к минусу батареи B_1 . Между плюсом этой батареи и эмиттером \mathcal{E} включается телефон T . Источник сигнала подключается к A . Все сказанное о согласовании входного сопротивления в опыте

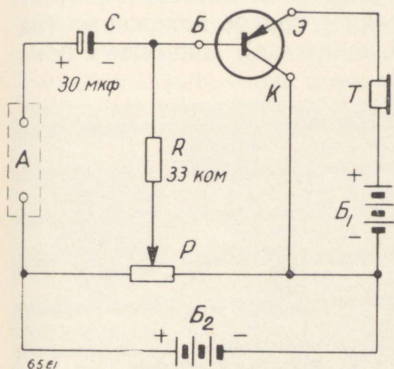


Рис. 65.

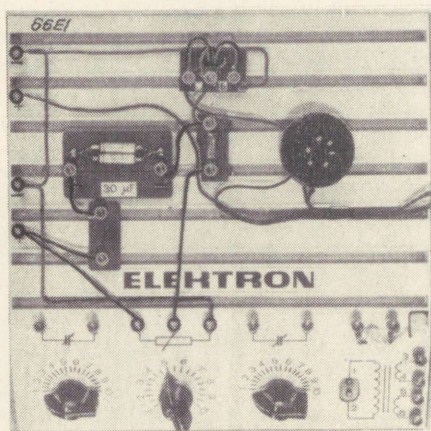


Рис. 66.

57 действительно также для этой схемы. С помощью потенциометра P выбирается наилучшая рабочая точка, которая, между прочим, не критична. Замечаем, что звучание слабо и неудовлетворительно.

Результат наблюдения. Схема с общим коллектором в усилителе на резисторах имеет те же недостатки, что в усилителе с входным трансформатором. Согласование выхода с телефоном также неудовлетворительно.

Вывод. Усилитель на резисторах по схеме с общим коллектором выгоден в тех случаях, когда требуется особо малое выходное сопротивление. Как уже упоминалось в описании опытов 45 и 55, эта схема применяется только для специальных целей.

59. Температурная компенсация в транзисторных усилителях

Постановка опыта. Сильная зависимость тока, протекающего через транзистор от температуры кристалла германия, как нам уже известно, является крайне нежелательной.

Повышение окружающей температуры, а также повышение температуры кристалла от тока, протекающего через транзистор, имеет неприятные последствия.

Для демонстрации температурного эффекта построим схему по рис. 67 и 68. Напряжение базы устанавливается с помощью потенциометра P ; в цепь эмиттера включен резистор R , в цепь коллектора гальванометр G . Сначала повернем скользящий контакт потенциометра на схеме рис. 67 в крайнее правое положение (на рис. 68 положение ключика — в крайнее правое). Подождем, пока

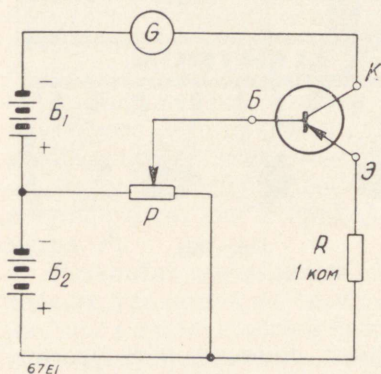


Рис. 67.

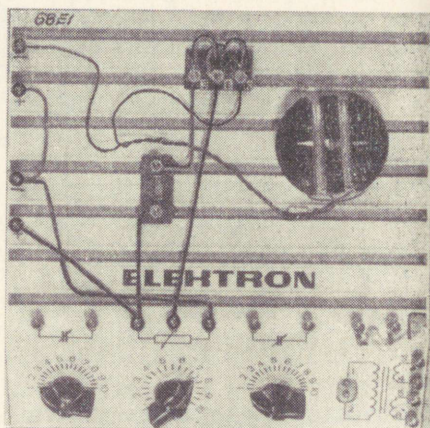


Рис. 68.

стрелка гальванометра успокоится и осторожно повернем ключик влево до получения отклонения стрелки гальванометра примерно на 6 делений. Это положение стрелки гальванометра можем наблюдать в течение долгого времени, оно не изменится.

Теперь повернем ключик направо и закоротим проводом резистор R эмиттера. После этого отрегулируем (особенно осторожно!) потенциометр так, чтобы стрелка гальванометра отклонилась вновь на 6 делений. Это показание гальванометра достигается теперь при меньшем напряжении потенциометра. Успокоим по возможности быстро стрелку гальванометра и проследим внимательно за ее дальнейшим поведением. Мы увидим, что стрелка медленно приблизится к 7—8 делению. Когда стрелка дойдет до этих делений, следует немедленно прекратить опыт, повернув

ключвик потенциометра в крайнее правое положение, чтобы не испортить транзистор.

Результаты наблюдений. В первой части опыта мы наблюдаем постоянство тока коллектора. Это объясняется тем, что ток ограничивался резистором R , на котором падала большая часть напряжения, так что повышение температуры транзистора не могло вызвать возрастания тока. Во второй части опыта этот резистор был закорочен, т. е. ограничительное сопротивление отсутствовало, вследствие чего наблюдалось увеличение коллекторного тока: ток нагревал кристалл германия, благодаря чему освободились носители заряда, за счет которых ток увеличивался еще больше, так как не было ограничивающего ток сопротивления и т. д. Если бы мы во время не прервали опыт, ток мог бы усиливаться до разрушения транзистора.

Выводы. Мы видим, что со схемами, не содержащими резистора для ограничения тока коллектора, необходимо быть чрезвычайно осторожными, так как транзистор разогревается, причем ток все время усиливается. Для устранения этого эффекта, т. е. для температурной компенсации, лучше всего использовать омическое сопротивление резистора в цепи эмиттера, которое препятствует усилению тока при повышении температуры. Чем больше сопротивление этого резистора, тем лучше действует стабилизация, но тем менее экономично будет работать схема, так как резистор в цепи эмиттера действует как отрицательная обратная связь, понижающая усиление, и, кроме того, поглощает часть мощности. Поэтому на практике приходится пойти на компромиссное решение и применить неполную компенсацию.

Кроме описанного, имеются еще другие способы для компенсации влияния температуры. Для этой цели используются, например, термосопротивления, которые способны компенсировать только влияние колебаний внешней температуры, но не влияние самонагрева транзистора. Дальнейшую возможность компенсации температурного влияния представляет использование по возможности низкоомного делителя напряжения в цепи базы или резистора с достаточно большим сопротивлением в цепи коллектора. Влияние температуры является нежелательным не только из-за опасности порчи транзистора, но также потому, что уже малые колебания температуры, не представляющие опасности для транзистора, могут вызвать существенные изменения в работе схемы. Поэтому мероприятиям по температурной стабилизации в схемах, которые не содержат токоограничительных резисторов, следует уделить самое серьезное внимание, — особенно в двухтактных усилителях низкой частоты и других схемах с трансформаторной связью, в которых омическое сопротивление обмоток является единственным (причем, совершенно недостаточным) токоограничителем. Эти схемы особенно подвержены опасности и должны иметь хорошую температурную компенсацию.

Ж. СХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Исследование транзисторных приемников особенно привлекает потому, что эти схемы могут найти и практическое применение. Экспериментальные макеты дают отличный прием и могут служить вторым приемником в квартире, правда, только для приема на наушники. Потребление тока совершенно незначительно. Мы рассмотрим сначала диодные приемники с усилителями на транзисторах и перейдем затем к регенеративным транзисторным приемникам, способным к удовлетворительному приему дальних станций. В заключение коснемся некоторых специальных схем.

60. Диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общим эмиттером

Постановка опыта. Этот приемник составляется из двух, уже ранее примененных в опытах 31 и 54 схем (рис. 27 и 57). Мы комбинируем одноконтурный диодный (детекторный) приемник с трансформаторным усилителем по схеме с общим эмиттером, которая оказалась наиболее работоспособной. Монтаж схемы производится по рис. 69 и 70.

В левой части представлен диодный приемник, состоящий из

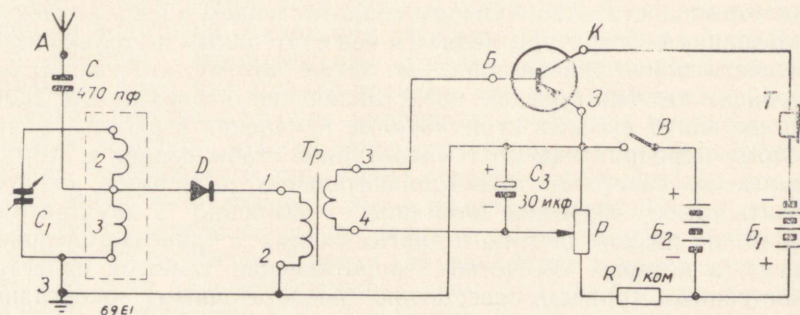


Рис. 69.

обмоток 2-3 катушки, переменного конденсатора C_1 , диода D , обмотки 1-2, трансформатора Tr и конденсатора связи C . Схема нам уже знакома. На обмотке 3-4 трансформатора появится напряжение звуковой частоты, пониженное в соотношении 10 : 1, подаваемое на базу B транзистора. Остальная часть схемы для нас также знакома. Она состоит из потенциометра P с подключенным токоограничительным сопротивлением R , шунтирующего конденсатора C_3 , телефона T , батарей B_1 и B_2 и транзистора.

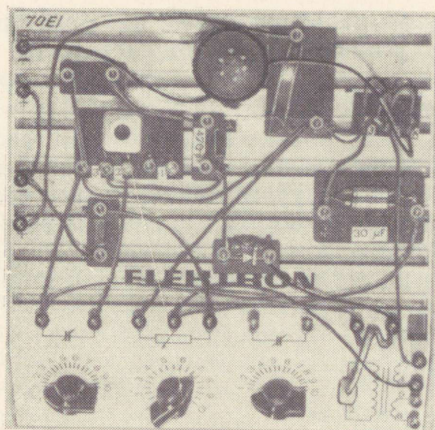


Рис. 70.

Получаемое от диодного приемника напряжение просто усиливается и воспроизводится телефоном. Приемник после включения выключателя B готов для пользования. Антенна подключается к точке A , заземление к точке Z .

Рекомендуем еще раз прочесть все касающееся опытов с диодными приемниками.

Выбор антенны, как мы уже знаем, определяет работоспособность приемника. Конденсатор C применяется при сравнительно длинных антеннах. При коротких антеннах конденсатор C можно упустить и антенну присоединить непосредственно к отводу катушки 2-3. Лучшая комбинация определяется опытом. Мы замечаем, что громкость приема значительно больше, чем у простого диодного приемника. Очень важно правильно отрегулировать потенциометр P для получения громкого и качественного приема. Наилучшее положение потенциометра находится около середины шкалы.

Результаты наблюдения. Значительный прирост по громкости доказывает, что получаемое от диодного приемника напряжение сильно увеличивается. При нормальной антенне громкость в телефоне даже слишком велика. При этом избирательность приемника с усилителем по сравнению с простым диодным, ничуть не лучше, так как избирательность определяется качеством контуров и правильностью антенной связи. Поэтому неизбежно прослушивание соседних по волне передатчиков, так как входной колебательный контур сильно демпфируется цепью диода и антенной.

Выводы. Диодный приемник с последующим транзисторным усилителем дает чрезвычайно громкий прием. Однако избирательность остается неудовлетворительной. Тем не менее, такая схема представляет приемник, пригодный для местного присма.

61. Двухконтурный диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты в схеме с общим эмитером

Постановка опыта. Можно достичь значительного улучшения избирательности, снабдив диодный приемник двумя колебательными контурами. Такую схему мы рассматривали в опыте 32. Обратимся еще раз к рисункам 29 и 30. Как видим, к схеме рис. 69 прибавляется лишь второй контур, состоящий из обмотки 1 катушки и переменного конденсатора C_2 . На рис. 71 и 72 изображе-

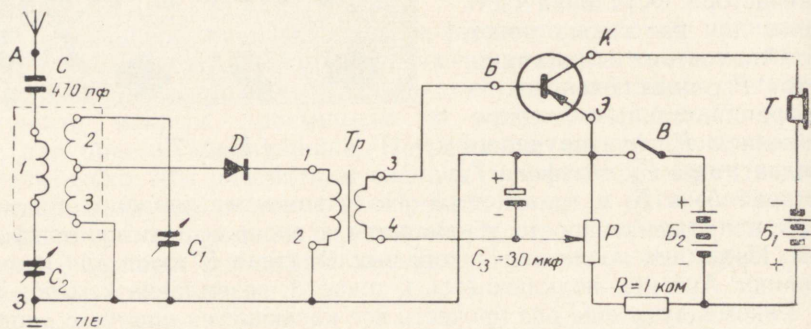


Рис. 71.

ны схемы и внешний вид полученного монтажа. Так как в остальном ничего не изменилось, упомянем лишь, что настройка приемника производится теперь с

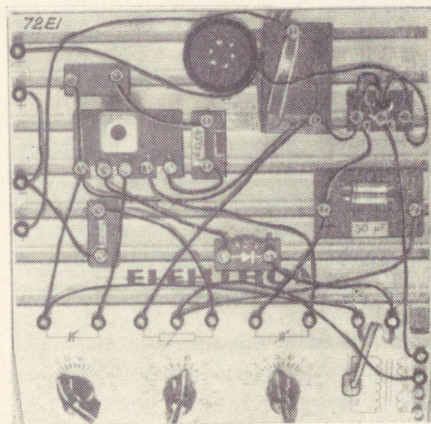


Рис. 72.

помощью обоих переменных конденсаторов C_1 и C_2 . Лучше всего искать станцию сперва при помощи C_1 и затем — C_2 по максимуму громкости. Мы замечаем значительное увеличение избирательности, причем громкость остается примерно той же или будет чуть меньше.

Результат наблюдений.

Схема с двумя контурами обладает значительно лучшей избирательностью, чем одноконтурная. Все же и такой приемник не работает удовлетворительно, так как оба

контура сильно демпфируются: частично — со стороны антенны, частично — диодом.

Громкость, несмотря на лучшую настройку на станцию, не увеличивается; она может даже немного убавиться, так как прибавляются потери второго контура.

Выводы. Двухконтурные приемники, в которых отсутствует высокочастотное усиление с помощью радиолампы или транзистора, компенсирующее потери, хотя и имеют лучшую избирательность, чем одноконтурные, все же не полностью удовлетворяют. Они могут найти себе применение, если прием от двух разных радиостанций получается приблизительно с одинаковой громкостью, причем длины волн этих станций достаточно разнесены. В таком случае достаточное разделение станций еще возможно, особенно, если выбрать подходящую антенну.

62. Диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общей базой

Постановка опыта. Для интереса переделаем предыдущую схему так, чтобы усилитель работал по схеме с общей базой. Такой вариант представлен на рис. 73 и 74. Монтаж предыдущего

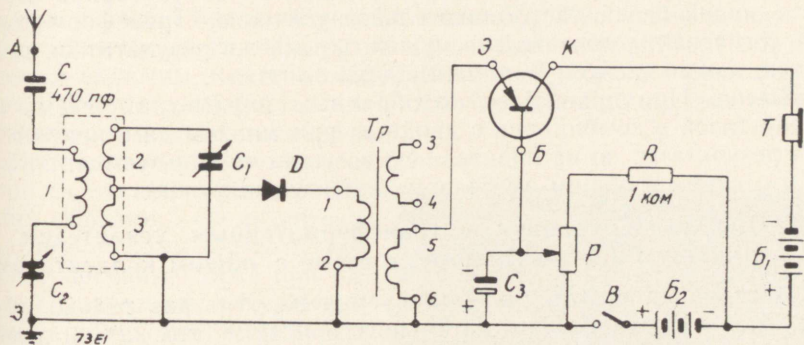


Рис. 73.

опыта можно, в основном, сохранить, так как изменяется только цепи транзистора. Диодная (приемная) часть остается с двумя колебательными контурами и с включенной обмоткой 1-2 трансформатора в цепи диода. База Б транзистора теперь подключена непосредственно к скользящему контакту потенциометра Р, причем в цепи эмиттера лежит обмотка 5-6 трансформатора Тр.

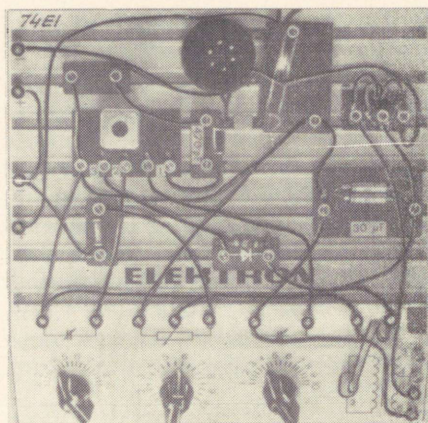


Рис. 74.

5-6, причем обмотка 3-4 остается свободной. Громкость сразу становится значительно больше, но общий результат все же не так хорош, как в опыте 61. Опыт 62 интересен тем, что он ясно показывает влияние согласования.

Результаты наблюдений. При правильном согласовании схема с общей базой даст значительное усиление. Трансформатор для согласования обязательно нужен, но все же результат не так хорош, как со схемой, имеющей общий эмиттер.

Вывод. При правильно подобранных параметрах схема с общей базой в комбинации с диодным приемником дает приемлемые результаты, но на практике ею все-таки не пользуются, потому что схема с общим эмиттером значительно лучше.

63. Диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общим коллектором

Постановка опыта. Довольствуемся на этот раз только обсуждением опыта, без его детального описания, так как он дает слишком скудные результаты. С помощью ящика экспериментирования, конечно, можно при желании построить соответствующую схему. Для этого надо скомбинировать уже известную из последних опытов диодный (детекторный) приемник с транзисторным усилителем в схеме с общим коллектором, который был описан в опыте 55 (рис. 59 и 60). Цепь диода подключается к обмоткам 1-2 или 3-4 трансформатора. Результат нас разочарует — получается совсем слабый прием.

Результат наблюдения. Как и можно ожидать, усилитель по схеме с общим коллектором в обыкновенных устройствах непригоден.

Вывод. Схема с общим коллектором используется только для специальных целей.

64. Диодный приемник с усилителем низкой частоты на резисторах и транзисторе в схеме с общей базой

Постановка опыта. В этом опыте мы также имеем дело с комбинацией двух уже знакомых схем — схемы диодного приемника предыдущих опытов и усилителя на резисторах и транзисторе в

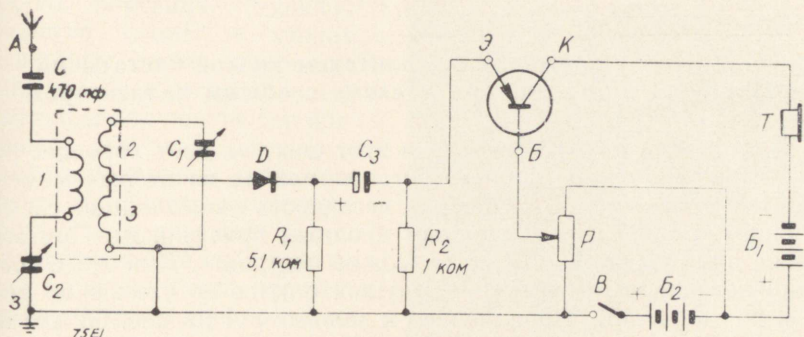


Рис. 75.

схеме с общей базой по рис. 61 (опыт 56). Обе схемы можно без опасения соединить между собой, как видно из рис. 75 и 76. В цепь диода включим резистор сопротивлением 5,1 ком и в цепь эмиттера резистор сопротивлением 1 ком. Связь между диодом и эмиттером осуществляется через электролитический конденсатор C_3 емкостью 30 мкф. Таким образом, схема готова, но результатом опыта будем разочарованы. Даже при самом тщательном регулировании потенциометра громкость приема совершенно неудовлетворительна. Она намного хуже, чем в схеме опыта 62, в которой применялась трансформаторная связь. Высокочастотные свойства схемы остались, конечно, теми же.

Результаты наблюдения.

Опыт показывает, что цепь диода плохо согласована с очень низкоомной цепью

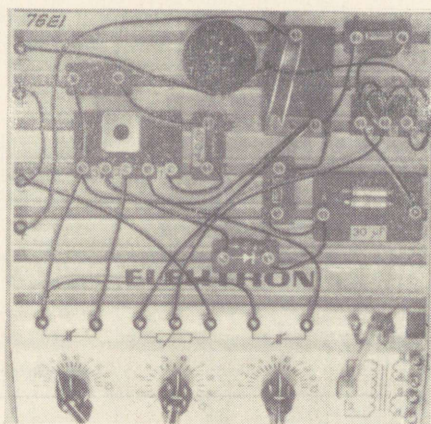


Рис. 76.

эмиттера. Здесь со всей ясностью обнаруживается польза от применения согласующего трансформатора, так как при использовании трансформатора можно схемой с общей базой получить довольно приемлемые результаты. Схемы, в которых отсутствует возможность согласования, дают результаты чрезвычайно скудные.

Вывод. Усилители по схеме с общей базой не следует применять, если не предусмотрена возможность для более точного согласования источника звуковой частоты с входным сопротивлением этой схемы.

65. Диодный приемник с усилителем низкой частоты на резисторах и транзисторе в схеме с общим коллектором

Постановка опыта. Так как и этот опыт не дает хороших результатов, мы только коротко остановимся на некоторых моментах. Опыт показывает еще раз негодность комбинации схемы с общим коллектором и простым диодным приемником. При желании, для проверки опытом, ее можно построить. Для этого комбинируют диодную схему предыдущих опытов со схемой по рис. 65 и 66 (опыт 58). Параллельно к зажимам А на рис. 65 или 66 включают уже знакомый по рис. 75 резистор сопротивлением 5,1 ком. К последнему подключается цепь диода. При включении приемника получается очень малая громкость.

Результат наблюдения. Усилитель на резисторах и транзисторе по схеме с общим коллектором в комбинации с диодным приемником также дает малую громкость.

Вывод. Схема с общим коллектором для простого диодного приемника не рекомендуется.

66. Диодный приемник с усилителем низкой частоты на резисторах и транзисторе в схеме с общим эмиттером

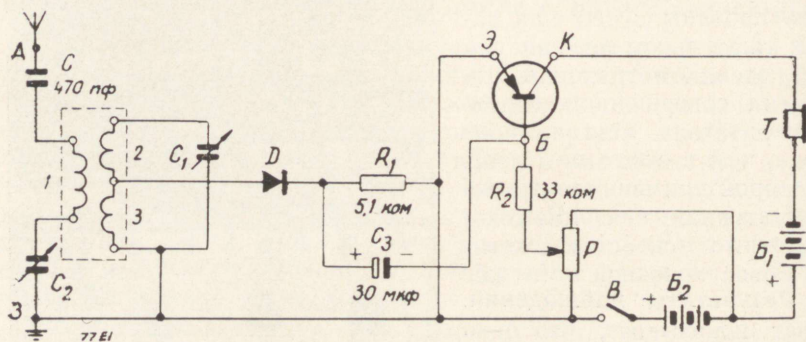


Рис. 77.

Постановка опыта. Это устройство является опять комбинацией уже известных схем, диодного приемника прежних опытов и усилителя на резисторах и транзисторе в схеме с общим эмиттером из опыта 57 (рис. 63 и 64). Параллельно к зажимам А на рис. 63 подключают резистор диодной цепи, сопротивлением $5,1 \text{ ком}$; в остальном повторяется подлинная схема с общим эмиттером рис. 63 и 64. Устройство в целом изображено на рис. 77 и 78. После включения и регулировки потенциометра на максимальную громкость и наилучшее качество звучания, хорошие свойства схемы с общим эмиттером опять становятся явными. Хотя согласование в настоящем случае не так идеально, как в усилителе с трансформаторной связью по схеме с общим эмиттером, громкость и качество звучания очень хорошие. Это является признаком того, что цепь диода намного лучше согласована с цепью эмиттера (служащей входом усилителя), которая является намного более высокоомной, чем в схеме с общей базой.

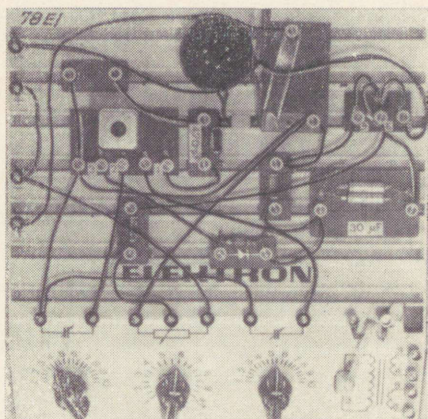


Рис. 78.

Результат наблюдения.

Схема с общим эмиттером в комбинации с диодным детектором, так же как усилитель на резисторах, работает превосходно. Громкость и качество звучания удовлетворительны.

Вывод. Последними опытами превосходство схемы с общим эмиттером можно считать доказанным. Она пригодна также в исполнении на резисторах, особенно в случаях, где надо экономить место и расходы на дорогостоящий трансформатор. Отдача схемы только немного хуже, чем при трансформаторном входе. Поэтому мы находим эту схему в разных комбинациях и в разных устройствах на практике. Высокочастотные свойства от применения усилителя низкой частоты в схеме с общим эмиттером, конечно, не изменяются.

67. Регенеративный приемник на транзисторе в схеме с общей базой

Постановка опыта. Этим опытом мы начинаем обсуждение группы схем очень эффективных транзисторных приемников. С по-

мощью введения обратной связи имеется возможность в значительной мере повысить избирательность, чувствительность и громкость приемника. Один из вариантов такой схемы, который мы здесь рассматриваем первым, изображен на рис. 79 и 80. В нем применяется схема с общей базой. В приемниках с регенерацией (положительной обратной связью) она имеет то преимущество, что верхний предел высоких частот, на котором она еще удовлет-

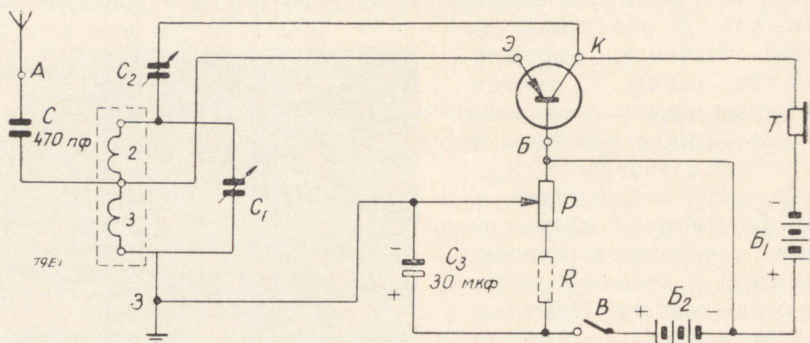


Рис. 79.

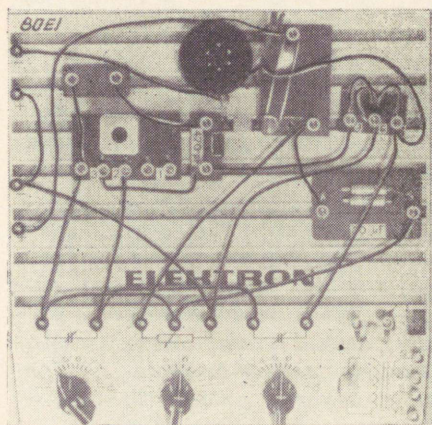


Рис. 80.

ворительно работает, лежит выше, чем в схеме с общим эмиттером. Предельной частотой считается в транзисторной технике та частота, при которой усиление по току падает до 0,7 от величины усиления на низких частотах. Предельная частота определяется в данном случае способностью к регенерации на высоких частотах. Мы видим, однако, что при наличии этого преимущества нам приходится мириться с недостатками схем с общей базой.

Постройка схемы по рис. 79 и 80 займет немного времени. Рассматривая принци-

пиальную схему рис. 79, видим уже знакомый нам по прежним опытам колебательный контур, состоящий из обмоток 2-3 катушки и переменного конденсатора C_1 . Антенна подключается через конденсатор C , что дает хорошие результаты при длинных антеннах. Короткие антенны более целесообразно подсоединять

непосредственно к выводу катушки. С этой точки катушки берется также напряжение сигнала, управляющее эмиттером Э транзистора. Рабочая точка транзистора устанавливается с помощью потенциометра P . Для этой цели в цепь эмиттер-база вводится регулируемое напряжение, которое берется от батареи B_2 и является очень существенным для удовлетворительной работы схемы. В цепи коллектора находится телефон T , напряжение коллектора, в основном, дает батарея B_1 . Устройство включается выключателем B ; оставшийся невыключенным ток батареи B_1 пренебрежимо мал. Для регулировки обратной связи служит переменный конденсатор C_2 , включенный между коллектором и верхним концом колебательного контура.

Схема работает следующим образом. Вводимое в цепь эмиттера напряжение усиливается и появляется в цепи коллектора, так что настраиваемая переменным конденсатором C_1 станция становится с помощью телефона хорошо слышимой. Как уже упоминалось, правильная регулировка потенциометра P очень важна. Проследим, что при этом происходит.

Сперва повернем скользящий контакт потенциометра (рис. 79) в крайнее верхнее положение так, что между эмиттером и базой вообще не будет напряжения. (Это соответствует крайнему левому положению клювика на рис. 80). Если теперь с помощью переменного конденсатора точно настроить на станцию (причем, заметим, что избирательность сравнительно хороша) прием будет слабым и искаженным. Это вызвано неправильно выбранной рабочей точкой транзистора. Повернем клювик немного вправо, прием станет громче и чище. Однако при этом обнаружится, что положение станции на переменном конденсаторе C_1 сместилось и избирательность стала хуже. И то и другое вызвано тем, что вследствие смещения рабочей точки внутреннее сопротивление цепи эмиттер-база уменьшилось, что, со своей стороны, несмотря на использование вывода катушки, увеличило затухание в колебательном контуре и вызвало его расстройку. Если вращать клювик дальше, это явление усугубляется и, наконец, избирательность теряется совсем, так что положение переменного конденсатора C_1 уже почти не будет влиять на настройку. Мы слышим передатчик на всей шкале и еле заметный максимум настройки.

Следует быть осторожным при регулировке потенциометра P ! Для устранения опасности разрушения транзистора рекомендуется включить ограничительный резистор R последовательно с потенциометром (см. рис. 79).

Займемся теперь регулировкой обратной связи. Повернем клювик потенциометра вправо настолько, сколько нужно для устранения искажений, но так, чтобы избирательность осталась удовлетворительной. Это наилучшая рабочая точка. После этого регулируем клювиком конденсатора C_2 обратную связь. В начале

клювик должен стоять в крайнем левом положении (см. рис. 80). Осторожно вращая C_2 , услышим возрастание громкости, затем, вращая еще дальше, получим свист. До этой точки, следовательно, идти нельзя. Заметим также, что от регулировки обратной связи получается расстройка станции, так что требуется некоторое подрегулирование настройки конденсатором C_1 . Таким образом лучше всего провести настройку станций, устанавливая ее с помощью обоих клювиков. Затем, осторожно регулируя потенциометром, можем улучшить качество приема. Важен также выбор подходящей антенны. Она не должна быть слишком короткой, а также слишком длинной. Следует испробовать — нужен ли конденсатор C или нет.

Следует еще добавить, что в схеме с общей базой напряжение высокой частоты, остающееся на коллекторе, совпадает по фазе с напряжением верхней точки колебательного контура. Вследствие этого можно подключить напряжение обратной связи непосредственно через конденсатор C_2 к колебательному контуру без применения особой обмотки обратной связи. Обратная связь, как известно, заключается в подведении части усиленного напряжения высокой частоты к входному контуру, причем в такой мере, в какой требуется для компенсации потерь колебательного контура. Тогда прием оптимален.

Результаты наблюдений. Этой схемой при правильной регулировке получаем удовлетворительную громкость. Однако видим, что очень низкоомная цепь эмиттер-база сильно демпфирует колебательный контур. В результате получается расстройка контура и ухудшение избирательности. И то и другое нежелательно. При настройке надо пойти на компромисс, дающий, с одной стороны, удовлетворительное качество звучания и возможность легко управлять обратной связью, с другой стороны — удовлетворительную избирательность. Вследствие большого затухания колебательного контура возникновение обратной связи происходит не плавно, как у ламповых приемников, а сравнительно неравномерно. Выбор рабочей точки очень сильно влияет на поведение схемы.

Выводы. Транзисторный регенеративный приемник по схеме с общей базой требует тщательной установки рабочей точки. Сильное затухание цепи эмиттера невыгодно. Оно приводит к потере избирательности и расстройке приемника. Поэтому транзисторный регенеративный приемник по схеме с общей базой применяется только в тех случаях, если хотят использовать предельную частоту транзистора. Имеющимися в продаже транзисторами низкой частоты можно, однако, перекрывать широкополосный частотный диапазон, не прибегая к этой схеме. Поэтому данная схема для практики не особенно рекомендуется.

68. Другой вариант обратной связи к схеме предыдущего опыта

Постановка опыта. Мы нашли, что в схеме рис. 79 обратная связь осуществлялась очень просто. Для изучения влияния фазы напряжения обратной связи видоизменяем схему в соответствии с рис. 81. Основная схема остается той же, только цепь обратной связи выполняется по другому — канал обратной связи идет теперь от коллектора K через переменный конденсатор C_2 к обмотке I катушки и через эту обмотку к заземленному (нулевому) проводу. Изменение небольшое и простое.

Регулируя обратную связь как в предыдущем опыте, заметим либо то, что громкость при введении конденсатора C_2 увеличивается, либо то, что она убавляется.

В первом случае полярность обмотки I такова, что обратная связь действует в положительном направлении, в другом случае она действует как отрицательная обратная связь. Переменив концы катушки, можем получить обратную связь желаемого направления. В большинстве случаев, однако, замечаем, что усиливая обратную связь вращением конденсатора C_2 , довести ее до свиста, т. е. до самовозбуждения схемы, не удастся.

Результаты наблюдений. Мы установили, что с помощью катушки обратной связи можно простым способом повернуть фазу напряжения обратной связи. При неправильном присоединении концов катушки получается отрицательная обратная связь, т. е. обратная связь с противоположным эффектом: причем становится слабее, избирательность ухудшается. Одновременно мы замечаем, что самовозбуждение вообще не достигается или достигается с трудом. Это указывает на то, что затухание цепи эмиттера велико и препятствует удовлетворительной работе схемы.

Вывод. Добавочная катушка обратной связи в схеме с общей базой не только лишняя, но даже неуместна.

69. Регенеративный приемник на транзисторе в схеме с общей базой и с емкостным подключением эмиттера

Постановка опыта. Рассмотрим еще раз схему с общей базой и попробуем, нельзя ли каким-нибудь образом компенсировать затухание цепи эмиттера. Для этой цели построим схему по рис. 82 и 83. Она отличается от схемы рис. 79 или 80 только спо-

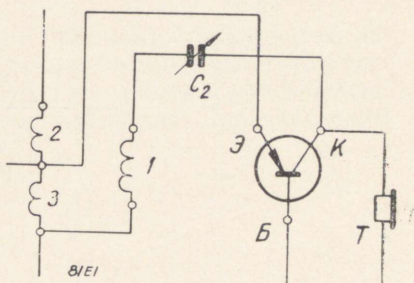


Рис. 81.

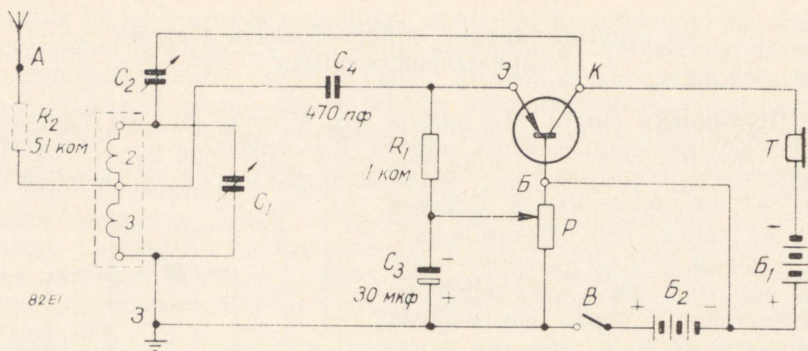


Рис. 82.

собом связи с эмиттером. Включим теперь в цепь между выводом катушки и эмиттером конденсатор C_4 сравнительно малой емкости (470 пф), а в качестве нагрузочного сопротивления эмиттера включим резистор R_1 , через который подведем к эмиттеру \mathcal{E} смещение от потенциометра P , с помощью которого установим рабочую точку транзистора. В остальной схема останется прежней и соответствует рис. 79. Включим теперь антенну и заземление,

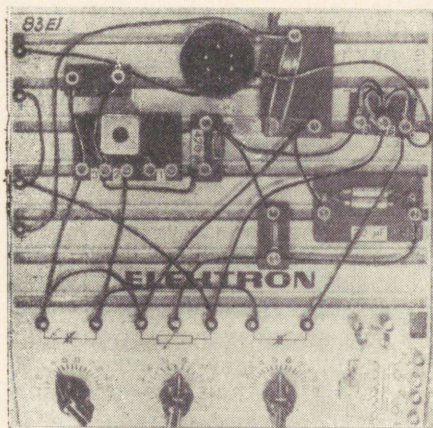


Рис. 83

причем при очень длинной антенне целесообразно между антенной и выводом катушки включить резистор R_2 для уменьшения влияния антенны на настройку. Настраивая на ближайший передатчик и регулируя потенциометр на оптимальную громкость, заметим, что избирательность существенно увеличилась. Громкость при этом не велика. Регулировкой обратной связи с помощью переменного конденсатора C_2 удастся немного увеличить громкость, но удовлетворительный прием можно получить только при больших напряжениях антенны. Зато обратная связь работает теперь намного лучше, она допускает плавную регулировку во всем диапазоне переменного конденсатора настройки и ведет себя как у лампового приемника.

Результаты наблюдений. Мы видим, что емкостная связь эмиттера дает существенное повышение избирательности и улучшение регулировки обратной связи. И то и другое достигается благодаря тому, что затухание цепи эмиттера через малый конденсатор связи C_4 уже не сможет в такой степени влиять на колебательный контур. Потеря громкости значительна, так как большая часть напряжения высокой частоты теряется на емкостном сопротивлении конденсатора C_4 .

Вывод. Емкостная связь эмиттера приводит к улучшению избирательности и обратной связи; несмотря на это, недостатки схемы с общей базой проявляются в потере громкости и чувствительности. Схема, таким образом, не удовлетворяет практическим требованиям.

70. Регенеративный приемник на транзисторе в схеме с общим эмиттером и с емкостным подключением базы

Постановка опыта. Можно предположить, что признанная наилучшей схемой усиления — схема с общим эмиттером — хорошо подходит для регенеративного приемника (аудиона). Для выяснения этого предположения построим схему по рис. 84 или 85. Эта схема отличается от схемы рис. 82 и 83 прежде всего тем, что управляющее напряжение высокой частоты подводится к базе транзистора. Связь осуществляем при помощи конденсатора, как

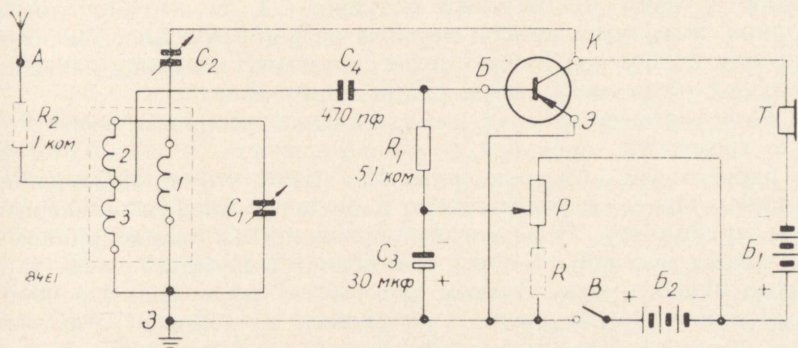


Рис. 84.

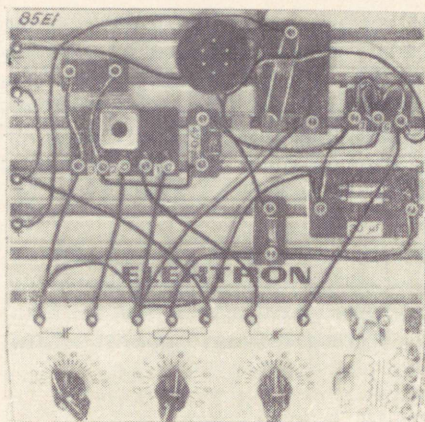


Рис. 85.

пряжение обратной связи через емкость C_2 . Направление обмотки выбираем, как показано на рис. 84. Переменный конденсатор C_2 соединяется с верхним концом обмотки I (рис. 84); нижний конец соединяется с (заземленным) проводом. При таком направлении намотки катушки напряжение обратной связи передается в правильной фазе.

Подключим антенну A и заземление Z , настроим сначала на мощную станцию (в положении обратной связи на минимуме) и выберем с помощью потенциометра наилучшую громкость и качество звучания. После этого усилим постепенно обратную связь. Подстраивая (одновременно с регулировкой обратной связи) станцию с помощью переменного конденсатора C_1 , наблюдаем существенное приращение громкости. Важен, как в предыдущих случаях, выбор антенны подходящих размеров. Если антенна слишком длинна, включим в провод антенны резистор R_2 . Более короткую антенну можем подключить непосредственно к выводу катушки и получим тогда наибольшую громкость приема.

При хорошей антенне и заземлении получим замечательную громкость, прекрасную избирательность и абсолютно четко работающую обратную связь. Мы видим, что обращение с приемником ничем не отличается от работы с ламповым регенеративным приемником. При умелом обращении им можно принимать не только местную станцию, а особенно в вечерние часы, также много дальних передатчиков, которые — насколько это вообще возможно одноконтурным приемником — хорошо отделяются друг от друга. При этом важно правильное применение обратной связи и правильный выбор рабочей точки. Наилучшая рабочая точка получается при положении клювика потенциометра P вбли-

указано на рис. 82, т. е. напряжение высокой частоты с вывода катушки подводится к базе через конденсатор C_4 . В цепи базы лежит сопротивление $R_1 = 5,1$ ком. Рабочая точка транзистора устанавливается опять с помощью потенциометра P . Для обратной связи применяется здесь обмотка I катушки, так как в схеме с общим эмиттером переменное напряжение коллектора смещено по фазе на 180° относительно переменного напряжения базы. Поэтому осуществляем обратную связь с помощью обмотки I , к которой подводим на-

зи крайнего правого положения (см. рис. 85). При неправильно выбранной рабочей точке получаются искажения и плохо действующая обратная связь. Это устройство представляет собой полноценный приемник, который можем применять у себя дома в качестве дополнительного приемника. Для уменьшения потребления тока потенциометром P можно, последовательно к нему, включить резистор R (на рис. 85 он показан пунктиром).

Результаты наблюдений. Мы констатируем превосходную громкость, избирательность и четко действующую обратную связь. Хорошие результаты обусловлены малым затуханием цепи базы и большим усилением, получаемым схемой с общим эмиттером. Мы знаем, что усиление является наибольшим у схемы с общим эмиттером и что эта схема, кроме того, имеет сравнительно высокое входное сопротивление. Вследствие этого колебательный контур относительно мало демпфируется и при правильно выбранной рабочей точке результаты очень хороши.

Вывод. Хороший транзисторный регенеративный приемник получается из схемы с общим эмиттером, причем целесообразно подключить базу к колебательному контуру через конденсатор. Такая правильно построенная схема равноценна ламповому регенеративному приемнику (аудиону).

71. Опыты с обратной связью в схеме предыдущего опыта

Постановка опыта. Для получения ясного представления о роли фазы при обратной связи, переменим концы обмотки 1 катушки на рис. 84 и 85. Мы заметим теперь, что при усилении обратной связи громкость убавляется и избирательность ухудшается. После этого соберем схему обратной связи по рис. 82 и 83, т. е. уберем обмотку 1 катушки и соединим коллектор через переменный конденсатор C_2 с верхним концом обмотки 2 колебательного контура. Повторяя опыт, получаем тот же результат — при усилении обратной связи (при вращении C_2 в направлении увеличения емкости) громкость и избирательность ухудшаются.

Результаты наблюдений. В обоих случаях вместо положительной обратной связи получаем отрицательную обратную связь, которая увеличивает затухание колебательного контура. В результате получаются плохая громкость и плохая избирательность.

Вывод. В схемах с обратной связью надо обращать внимание на то, чтобы напряжение обратной связи передавалось в правильной фазе. В противном случае свойства схемы заметно ухудшаются.

72. Регенеративный транзисторный приемник по схеме с общим эмиттером при прямом включении базы

Постановка опыта. Исследуем теперь, как схема с общим эмиттером ведет себя при прямой связи базы с колебательным контуром. В этом отношении новая схема, которую построим по рис. 86 и 87, соответствует схеме с общей базой в опыте 67. База

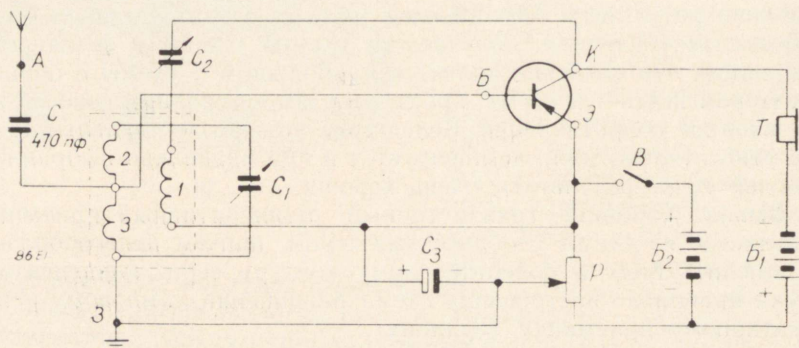


Рис. 86.

транзистора присоединяется непосредственно к выводу катушки, а нижний конец катушки соединяется со скользящим контактом потенциометра P для регулировки смещения и выбора наилучшей рабочей точки. В остальном все соответствует схеме рис. 84 и 85, т. е. схема с общим эмиттером полностью сохраняется. При регулировке смещения с помощью P необходимо соблюдать осторожность как в опыте 67!

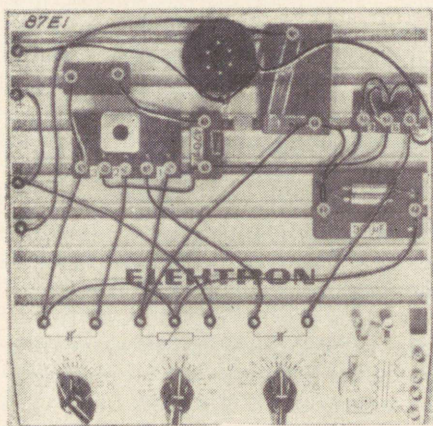


Рис. 87.

При включении схемы заметим, что громкость превосходит. Зато избирательность очень сильно ухудшилась. Громкие станции слышны по

всей шкале и их уже не удастся разделить. Кроме того, заметим, что регулировка обратной связи трудна. Установка оптимальной рабочей точки критична. При вращении потенциометра в крайнее правое положение (рис. 81), что соответствует крайнему нижнему положению скользящего контакта P на рис. 86, избирательность и удобство регулировки обратной связи становится относительно хорошими; смещение базы тогда мало и сопротивление цепи базы относительно велико, вследствие чего затухание не особенно сильно. Но в этом случае громкость и качество звучания не удовлетворяют. При вращении ключика в направлении повышения напряжения смещения (влево) громкость и качество звучания становятся хорошими, но теперь сопротивление цепи базы настолько уменьшается, что теряется избирательность, колебательный контур расстраивается и получение обратной связи затрудняется. Затухание в этой схеме вообще велико.

Результаты наблюдения. При превосходной громкости и качестве звучания схема не удовлетворяет по избирательности и удобству регулировки обратной связи. Это вызвано слишком малым сопротивлением цепи базы. Превосходство схемы с общим эмиттером перед схемой 79 в опыте 67 все еще заметно (хорошая громкость и качество звучания).

Выводы. Непосредственная связь базы с колебательным контуром ухудшает свойства схемы, поскольку вносимое в колебательный контур затухание слишком велико. Замечается прирост громкости, что вызвано отсутствием конденсатора связи C_4 рис. 84 и 85, на котором расходовались часть напряжения высокой частоты; несмотря на это, во всех случаях преимущество следует отдать схеме опыта 70 (рис. 84).

73. Регенеративный диодно-транзисторный приемник с резисторно-емкостной связью

Постановка опыта. Схема опыта 70 дала хорошие результаты. Ее можно еще улучшить. Следует учесть, что транзистор в схеме рис. 84 и 85 должен одновременно и возможно оптимально выполнять три различных функции: 1) детектировать напряжение высокой частоты, 2) хорошо усиливать и 3) работать в такой точке характеристики, которая обеспечивает оптимальную обратную связь. Простым рассуждением можно доказать, что трудно отрегулировать схему таким образом, чтобы все три функции одинаково хорошо выполнялись. Поэтому само собой напрашивается использование отдельного диода для детектирования работающего в оптимальном режиме. Транзистору остаются две функции: усиление и создание напряжения обратной связи. Правильность этих рассуждений доказывается соответствующим образом построенной схемой (рис. 88 и 89). Колебательный контур, состоя-

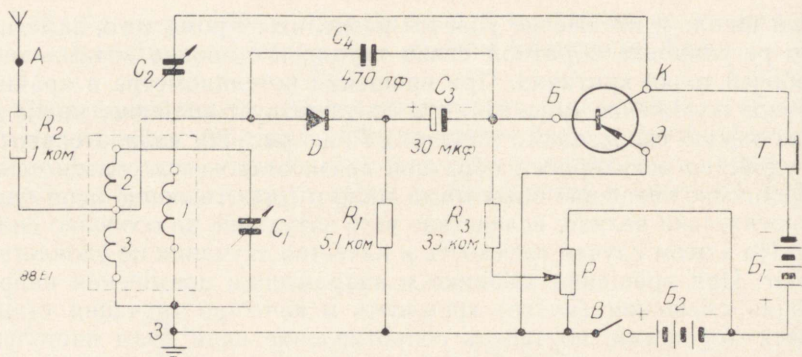


Рис. 88.

ший из переменного конденсатора C_1 и обмоток 2-3 катушки остается таким же, как в прежних опытах. Напряжение с выхода контура детектируется диодом D , имеющим нагрузку R_1 . Появ-

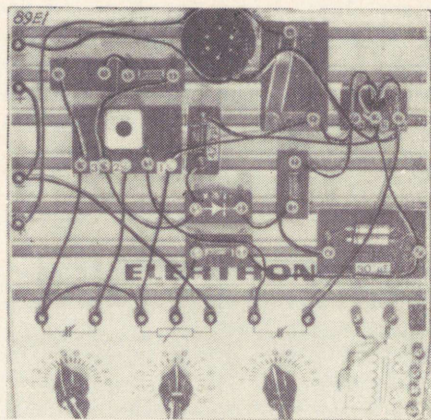


Рис. 89.

ляющаяся на резисторе R_1 напряжение низкой частоты подводится через C_3 к базе транзистора. До сих пор схема изображает обыкновенный детекторный приемник с транзисторным усилителем по схеме с общим эмиттером. Дополним схему тем, что подведем напряжение высокой частоты через C_4 к базе транзистора и полученное вследствие этого на коллекторе K усиленное напряжение высокой частоты используем в качестве напряжения обратной связи, которое через C_2 подведем к обмотке 1 катушки. В результате получим исключительно хорошо работающий регенеративный приемник. Рабочая точка, само собой разумеется, может теперь быть выбрана с помощью потенциометра P так, чтобы получилось максимальное усиление транзистора, который теперь должен усиливать как напряжение низкой частоты, так и напряжение высокой частоты. Обе функции теперь не противоречат друг другу. Детектирование происходит теперь оптимально с помощью диода D . Получаемая громкость и качество звучания еще лучше чем в опыте

70. Но избирательность также хороша, так как колебательный контур нагружается только диодом. Конденсатор C_4 нельзя упустить, потому что сам диод не дает в достаточной мере пройти напряженную высокой частоты до базы транзистора. Без C_4 обратная связь не действует, в чем можно легко убедиться. Естественно и здесь правильный выбор антенны играет большую роль.

Результаты наблюдений. При детектировании сигнала с помощью германиевого диода и использовании транзистора только для усиления высокочастотного и низкочастотного напряжения схема опыта 70 существенным образом улучшается, так как имеется возможность установить рабочую точку транзистора оптимально. Рабочая точка ставится просто на максимальное усиление; детектирование, связанное с качеством звучания, теперь уже от этого не зависит.

Вывод. Если одному элементу схемы дать слишком много разных функций, результатом будет компромисс — все функции не могут одновременно выполняться оптимально. Поэтому лучше предвидеть несколько самостоятельных элементов схемы, каждый для своей задачи.

74. Регенеративный диодно-транзисторный приемник с трансформаторной связью

Постановка опыта. Схему предыдущего опыта можно еще усовершенствовать применением трансформатора связи для согласования низкочастотной цепи диода с входным сопротивле-

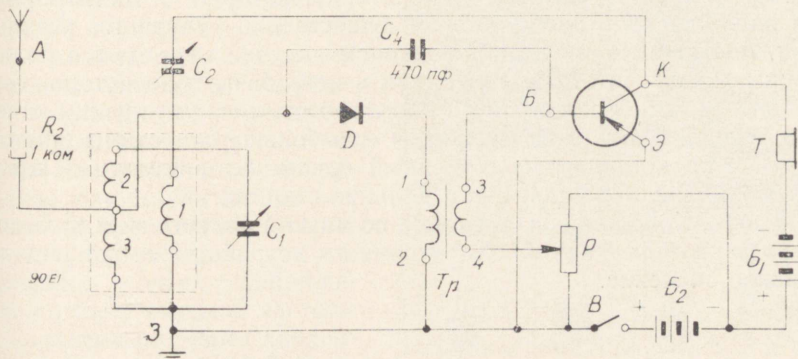


Рис. 90.

нием транзистора. Построим схему по рис. 90 и 91. Первичная обмотка 1-2 трансформатора Tr служит нагрузкой (рабочим сопротивлением) диода, в то время как обмотка 3-4 управляет цепью базы транзистора. Зажим 4 трансформатора подсоединен к потенциометру P для подбора наилучшей рабочей точки. Конденсатор C_4 служит, как в схемах рис. 88 и 89, для передачи высокой частоты на базу транзистора, что необходимо для получения

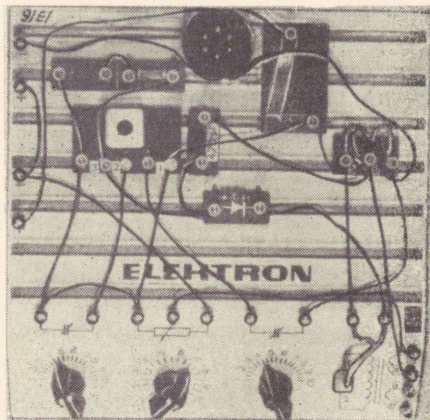


Рис. 91.

достаточного напряжения высокой частоты с выхода транзистора для обратной связи. В остальном эта схема не отличается от схемы рис. 98 и 89. Если теперь подобрать потенциометром P оптимальную рабочую точку, будем наблюдать еще лучшую громкость и лучшее качество звучания, чем в той схеме. Только регулировка обратной связи не происходит достаточно плавно — каждый раз в момент перед достижением самовозбуждения получается короткий скрипящий звук. Это, однако, особенно не мешает и вызвано тем, что

в обмотках трансформатора связи возбуждаются колебания низкой частоты. Будьте осторожны при регулировке потенциометра P , см. опыт 67!

Результаты наблюдений. Этот опыт еще раз доказывает, что тщательное согласование транзистора с внутренним сопротивлением источника сигнала (генератора), которым в данном случае является цепь диода, можем существенно улучшить результаты, получаемые схемой. В данном случае передаются более мощные низкочастотные колебания в цепь базы транзистора, чем в опыте 73, что отражается на росте громкости и улучшении качества звучания. Эта схема также, и еще больше чем схемы опытов 70 и 73, представляет полноценный приемник, с помощью которого возможен хороший прием дальних станций.

Вывод. Хорошее согласование по низкой частоте между цепями радиотехнического или электронного устройства имеет подчас большое значение.

75. Регенеративный приемник с питанием от местного передатчика

Постановка опыта. Обратим сразу внимание на то, что проведение этого опыта возможно лишь в случае, если поблизости имеется мощный передатчик. Расстояние между передатчиком и приемником не должно превышать 5... 10 км. В таком случае можем с помощью этого опыта убедиться в том, что энергия, получаемая от местного передатчика, достаточна для питания регенеративного транзисторного приемника. Построим схему по рис. 92 и 93. С колебательным контуром и его составными элементами мы

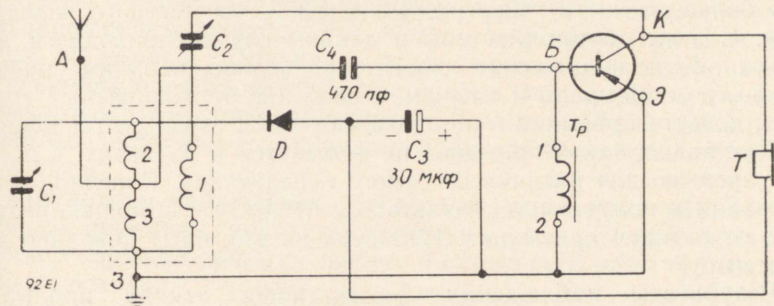


Рис. 92.

уже знакомы. Подключим к незаземленному концу обмотки колебательного контура германиевый диод D последовательно с конденсатором C_3 , чтобы получить выпрямление напряжения местного передатчика в постоянное напряжение. Диод D действует здесь в качестве выпрямителя, и на конденсаторе C_3 образуется постоянное напряжение, величина которого зависит от получаемого от местного передатчика напряжения высокой частоты. Это постоянное напряжение используем теперь для питания приемника. С вывода катушки снимаем, как и в прежних схемах, напряжение сигнала высокой частоты и подведем его через конденсатор C_4 к цепи базы B транзистора. Сопротивлением на-

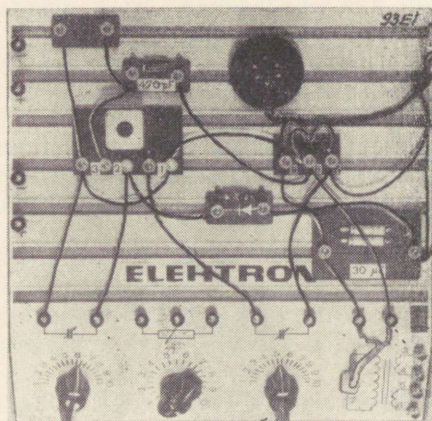


Рис. 93.

грузки цепи служит обмотка 1-2 трансформатора *Tr*. В цепь между базой и эмиттером *Э* не включается постоянное напряжение, так как получаемое от местного передатчика напряжение довольно мало, вследствие чего напряжение питания транзистора (прикладываемое к эмиттеру и коллектору) тоже мало и в таком случае не требуется напряжения питания в цепи базы.

От коллектора ответвляется напряжение обратной связи, подводимое через переменный конденсатор C_2 к обмотке 1. Мы подключаем, по возможности, хорошую антенну и настраиваем колебательный контур с помощью конденсатора C_1 на местную радиостанцию. Избирательность будет очень малой, так как колебательный контур сильно шунтируется цепью диода *D*, поглощающей большую часть энергии, получаемой от местного передатчика. С этим обстоятельством в данном случае приходится мириться. Если напряжение достаточно велико, получим сравнительно громкий прием и сможем, в особенно благоприятных условиях, довести приемник с помощью обратной связи до генерации.

Как видно, такой приемник не нуждается в батареях, а получает энергию для питания от самого передатчика. Конечно, нельзя сравнить получаемые результаты с приемом с помощью питаемого от батареи приемника. Несмотря на это, опыт довольно интересен.

Результаты наблюдения. Безразлично, откуда приемник получает энергию питания. В данном случае энергии от местной станции достаточно для получения скромного приема. Напряженность поля местной радиостанции должна быть на месте приема, по возможности, большой. Получаемое напряжение высокой частоты необходимо выпрямлять.

Выводы. Устройства на транзисторах настолько малотребовательны в отношении питания, что достаточно совсем малой энергии для приведения их в действие, даже энергии излучаемой местной радиостанцией. Можно было бы также использовать энергию от чувствительного микрофона, «питаемого» достаточно сильными звуковыми волнами, выпрямляя ее и подводя к приемнику. Можно также превращать энергию света с помощью фотоэлементов в электрическую и также использовать ее для питания приемника. Такие эксперименты возможны, конечно, только с помощью мощных фотоэлементов.

76. Громкоговорительный прием с транзисторным приемником

Постановка опыта. Мы обсудили ряд схем интересных приемников, которые, однако, все дают прием только в наушниках. Не трудно догадаться, что для работы приемника на громко-

говоритель возможности нашего ящика экспериментирования недостаточны. Несмотря на это, мы можем от своих транзисторных приемников получить прием и в громкоговорителе, используя адаптерный вход радиовещательного приемника. Вместо включаемого до сих пор в цепь коллектора телефона, включим теперь транзистор сопротивлением от 1 до 5 *ком*. Напряжение звуковой частоты снимается с одного конца резистора и подводится экранированным проводом к «горячему» гнезду адаптерного входа приемника. «Горячее» гнездо отличается тем, что три прикосновении к нему пальцем слышим громкий шум в громкоговорителе. Другой конец резистора соединяем со вторым гнездом адаптерного входа, для чего используем металлическую оболочку экранированного провода. Это гнездо соединено с нулевым проводом приемника. Правильно отрегулировав органы громкости, регулировки и настройки транзисторного приемника, получим в громкоговорителе хороший прием. Важна тщательная экранировка соединительного провода, в противном случае появится шум (фон).

Результаты наблюдения. Используя нормальный радиовещательный приемник, имеющий адаптерный вход, можно получить громкоговорящий прием от любого построенного нами транзисторного приемника.

Вывод. Описанные нами транзисторные приемники нуждаются для приема на громкоговоритель лишь в мощном конечном каскаде.

3. СХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

В настоящее время транзисторы приобрели большое значение в схемах генераторов (осцилляторов) и передатчиков. Несмотря на то, что получаемая мощность высокой частоты небольшая, существуют уже радиопередатчики, работающие на специальных высокочастотных транзисторах, с исключительно хорошими результатами по дальности. Так как в ящике экспериментирования имеется только транзистор низкочастотного типа, наш выбор опытов будет довольно ограниченным. Все же мы сможем с помощью описываемых в дальнейшем схем перекрывать почти весь средневолновый и длинноволновый широкоэвещательный диапазон частот, конечно, только при очень малых мощностях. Это не должно нас смущать, так как нашей целью является лишь ознакомление с принципами работы транзистора в качестве генератора и в передающих устройствах. Приводимые здесь схемы применимы даже на практике и с их помощью возможно продемонстрировать сущность техники радиопередачи.

Транзистор широко применяется в качестве гетеродина (генератора) в транзисторных супергетеродинных приемниках. Получаемое от него напряжение высокой частоты вполне достаточно для управления смесительным каскадом. Далее транзисторный генератор найдет применение также на относительно низких частотах, т. е. в звуковых генераторах.

Обращаем внимание на то, что, не имея разрешения на любительскую радиостанцию, нельзя в опытах с передающими схемами подключать антенны и заземления. Обозначение антенны и заземления в схемах и на рисунках показаны лишь для того, чтобы знать, куда при нормальной работе радиостанций подключают антенну и заземление.

В нижеследующих опытах с передающими устройствами мы используем только схему с общим эмиттером, так как имеющийся у нас низкочастотный транзистор работает в этой схеме лучше всего. При этом применяем емкостную связь базы с колебательным контуром, поскольку известно из опыта 70, что в этом случае затухание контура меньше всего. С помощью специального высокочастотного транзистора возможны также все другие схемы включения транзистора.

77. Немодулированный телеграфный передатчик

Постановка опыта. Смонтируем схему по рис 94. и 95. Колебательный контур, состоящий из конденсатора C_1 и обмотки 2-3 катушки, определяет частоту передатчика. Вывод катушки соеди-

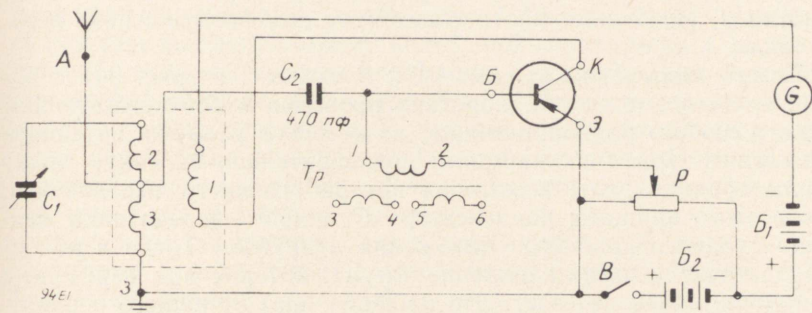


Рис. 94.

няется через конденсатор C_2 с базой B транзистора. Внешнее сопротивление цепи базы состоит в данном случае из обмотки 1-2 трансформатора Tr . Роль обмоток трансформатора в этой схеме будет разъяснена позже.

Выбор правильной рабочей точки производится таким же образом, как в предыдущих опытах, с помощью потенциометра P . Потенциометр включен параллельно батарее B_2 . Обратная связь осуществляется в этой схеме с помощью находящейся в цепи коллектора обмотки 1 катушки, другой конец которой соединен через гальванометр G с батареей B_1 . Вся схема довольно проста. Перед замыканием выключателя B передвинем скользящий контакт потенциометра P , в соответствии с рис. 94, налево, повернув ключик в

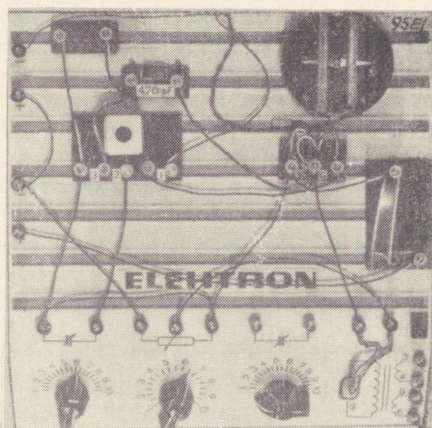


Рис. 95.

крайнее левое положение (рис. 95). После этого вращаем ключик осторожно вправо до отклонения стрелки гальванометра, примерно, до половины шкалы. Если теперь с помощью куска провода временно закоротить обмотку I , показание гальванометра должно уменьшиться. Это является признаком того, что передатчик возбуждается (генерирует) — в состоянии самовозбуждения ток коллектора больше. Обмотка I катушки должна быть включена в направлении, как показано на рис. 94. При обратном включении обмотки I , последняя противодействует самовозбуждению передатчика.

Теперь подключим зажимы A и $З$ схемы (см. рис. 94) с помощью, по возможности, коротких проводов к соответствующим гнездам любого радиоприемника, из которого удалены антенна и заземление. Приемник настроим предварительно на такую точку шкалы средних волн, в которой нет работающего передатчика. После этого вращаем конденсатор C_1 нашего передатчика медленно с одного крайнего положения в другое. Тогда в какой-нибудь точке услышим шипение (шум), которое при переходе с этой точки опять исчезает. Это шипение идет от нашего передатчика; настроим приемник окончательно на эту точку. Так как передатчик не модулирован, вместо звука слышен только шум. Мы можем «манипулировать» током в контуре передатчика ритмичным нажатием выключателя B . В приемнике тогда слышится щелканье в том же ритме. Этим способом можно было бы осуществлять телеграфную связь на расстоянии примерно 100 метров. Однако обращаем на это еще раз внимание — такие эксперименты на средних волнах запрещены. Любое излучение высокочастотной энергии в этом диапазоне волн вызывает помехи широкополосному и телевизионному приему. Если же не подключать антенны, а соединить передатчик прямо короткими проводами с приемником, мы не будем мешать соседним радиоприемникам. Из предосторожности можно включить последовательно в цепь гальванометра резистор сопротивлением 1 ком , который защитит транзистор от перегрева (см. опыт 59).

Результаты наблюдения. На базе простой схемы с обратной связью, известной нам уже из опытов с приемными устройствами, можно построить маленький телеграфный передатчик.

Вывод. Подобные передатчики используются для разных практических целей, особенно в качестве любительских передатчиков и генераторов в супергетеродинных приемниках, а также во многих электронных устройствах. Эта схема может с успехом заменить соответствующую ламповую схему, если не требуется особой стабильности частоты и можно довольствоваться скромной мощностью.

78. Передатчик с базовой модуляцией

Постановка опыта. Опыты с передающими схемами особенно интересны при применении модуляции. Не надо ничего изменять в схеме рис. 94 и 95, так как в ней уже предусмотрена возможность модуляции. Модуляционное устройство состоит из трансформатора *Tr*, к обмотке 3-4 или 5-6 которого подключается модулирующее напряжение. Это напряжение низкой частоты трансформируется в обмотку 1-2 и вызывает изменение амплитуды высокочастотных колебаний передатчика в ритме колебаний звуковой частоты модуляции. Таким образом получается хорошо работающая амплитудная модуляция передатчика, причем схема очень чувствительна, так как в ней используется управление цепью базы транзистора. Об этой схеме знаем, что она дает хорошее усиление; напряжение модуляции усиливается, таким образом, в схеме с общим эмиттером.

Настроим передатчик как в предыдущем опыте на частоту приемника и подключим к одной из свободных обмоток трансформатора источник звуковой частоты. Для этой цели можно использовать, например, другой приемник, магнитофон, электропроигрыватель с усилителем и т. п. Если выходное сопротивление источника мало, например, это низкоомная обмотка громкоговорителя, приемника или магнитофона, лучше брать обмотку 5-6. Она согласована примерно на 10 ом. Коэффициент трансформации большой и полная модуляция цепи базы получается уже при малых напряжениях источника звуковой частоты. Если же источник высокоомный, например, усилительная лампа с сопротивлением нагрузки в несколько тысяч ом, используем для модуляции передатчика обмотку 3-4.

В каждом случае можно испробовать, какая обмотка подойдет лучше. При этом нет опасности перегрузки транзистора.

Как в предыдущем опыте, включим установку, убедимся в правильной работе закорачиванием обмотки 1 катушки, при котором должна реагировать стрелка гальванометра, и настроим передатчик сперва при отсутствии модуляции. Затем постепенно подаем напряжение модуляции на обмотку трансформатора регулятором громкости источника, поставленного первоначально на нуль. Медленно добавляя регулятором громкость, услышим в приемнике модулированный звук. Не следует увеличивать громкость до появления искажения звука. При этом требуется некоторая подстройка приемника. При достаточно тщательной регулировке можно достичь совершенно чистой и качественной передачи. Для этого важно, чтобы не получалось перегрузки цепи базы слишком высоким напряжением модуляции.

Не имея особого источника звуковой частоты, можно провести опыт модуляции речью, используя в качестве микрофона имеющийся в ящике экспериментирования наушник. Телефон подклю-

чается непосредственно к зажимам 3-4 трансформатора. Если держать телефон близко у рта и громко говорить в мембрану, речь будет слышна в громкоговорителе приемника. Качество звучания при этом не особенно хорошее и говорить надо сравнительно громко. Наушник не особенно пригоден как микрофон. Получаемое от него напряжение недостаточно для полной модуляции цепи базы. Несмотря на это, опыт показывает пригодность схемы для беспроводной передачи речи. Разумеется, что результат будет гораздо лучше при наличии настоящего микрофона с усилителем. Тогда выход усилителя подсоединяется к одной из обмоток трансформатора. Принципиально имеется возможность включения любого источника низкой частоты, например, звукового генератора и т. п.

Результаты наблюдений. Мы установили, что транзисторный передатчик с модуляцией в цепи базы работает хорошо. Большое усиление, получаемое схемой с общим эмиттером, требует для модуляции незначительного входного напряжения низкой частоты. Перегрузка цепи модуляции сказывается в сильном искажении звука. Подбором обмоток трансформатора можно согласовать цепь модуляции с любым выходным сопротивлением источника напряжения звуковой частоты.

Вывод. Подачей модулирующего напряжения в цепь базы достигается полная и качественная модуляция транзисторного передатчика уже при малых напряжениях источника звуковой частоты. Поэтому эта схема особенно хорошо подходит для любительских передатчиков. Наряду с этим, схема встречается в таком же виде и в некоторых профессиональных радиоэлектронных устройствах.

79. Передатчик с коллекторной модуляцией

Постановка опыта. Модуляцию транзисторного передатчика можно осуществить включением напряжения модуляции в цепь коллектора. Этот способ соответствует анодной модуляции в ламповых передатчиках. Базовая модуляция соответствовала бы сеточной модуляции в ламповых передатчиках. Монтаж и схема передатчика с коллекторной модуляцией показаны на рис. 96 и 97. Колебательный контур построен так же, как в предыдущем опыте, такова же обратная связь. В цепи базы лежит резистор нагрузки R сопротивлением 5,1 *ком*, через который подается устанавливаемое потенциометром P напряжение смещения. Последовательно с обмоткой 1 обратной связи включена обмотка 1-2 трансформатора низкой частоты. Кроме того, как в предыдущем опыте, предусмот-

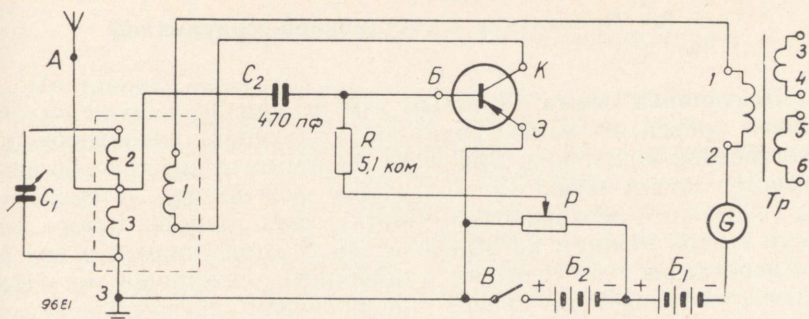


Рис. 96.

рен гальванометр G для измерения тока коллектора. Передатчик включается и регулируется точно таким же образом, как в опыте 78. Для этой схемы действительно так же все сказанное там относительно источников напряжений звуковой частоты, используемых для модуляции передатчика. Следует обратить особое внимание на согласование, т. е. на выбор между обмотками 3-4 и 5-6 трансформатора. Мы заметим, что коллекторная модуляция требует для полного модулирования передатчика сравнительно большого напряжения звуковой частоты.

Результаты наблюдения. Коллекторная модуляция тоже дает хорошие результаты. Воспроизведение звука при правильном выборе модулирующего напряжения (т. е. глубины модуляции) и правильной настройке — безукоризненно. Но так как здесь отсутствует усиление, получаемое при использовании для модуляции цепи базы, требуется немного большее напряжение модуляции. В данной схеме получается амплитудная модуляция, так как напряжение модуляции воздействует непосредственно на величину амплитуды напряжения.

Вывод. Коллекторная модуляция может быть использована для модуляции передатчиков с таким же успехом, как базисная модуляция, с той лишь разницей, что требуется немного большее напряжение звуковой частоты.

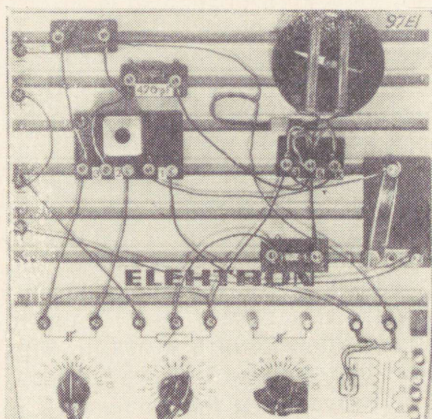


Рис. 97.

Постановка опыта. Простым изменением предыдущей схемы можем превратить ее в передатчик, создающий напряжение для собственной модуляции. Для этого уберем из схемы (рис. 96 и 97) резистор между базой и скользящим контактом потенциометра P . Вместо него включим обмотку 3-4 трансформатора Tr . Если теперь нажмем на выключатель B , отрегулируем и настроим передатчик, то услышим в приемнике свистящий тон. Передатчик модулируется теперь напряжением звуковой частоты, генерируемое в схеме самого передатчика благодаря введенной нами обратной связи (через трансформатор) между цепями коллектора и базы транзистора. Получаемые таким образом колебания звуковой частоты, однако, не синусоидальны, а имеют сильно искаженную форму, т. е. содержат большое количество высших гармоник. Зачастую обратная связь по низкой частоте получается настолько сильной, что самовозбуждение колебаний высокой частоты передатчика периодически срывается. Это проявляется в том, что в приемнике свист периодически повторяется и мы слышим на большом участке шкалы приемника непрерывное чириканье — признак наличия множества излучаемых передатчиком гармоник. При этом опыте, конечно, надо обратить внимание на правильную полярность обратной связи. Обмотки трансформатора включены правильно, если зажим 1 первичной обмотки трансформатора подключен к верхнему концу обмотки 1 катушки и зажим 3 трансформатора — к базе транзистора. Если концы переменить местами, обратная связь на низкой частоте будет отсутствовать и передатчик останется без модуляции.

Результаты наблюдения. Самовозбуждением передатчика на низкой частоте можно заставить транзисторный передатчик работать с собственной модуляцией. При этом генерируемое в передатчике добавочное напряжение низкой частоты модулирует колебания высокой частоты передатчика по амплитуде. Если обратная связь достаточно сильна, то получается периодический срыв и возобновление колебаний высокой частоты. Такой передатчик излучает короткие импульсы высокой частоты.

Выводы. Передатчик с собственной модуляцией не нуждается в сторонних источниках напряжения низкой частоты. Устройство, работающее по такой схеме, может быть использовано для целей сигнализации или для проведения испытаний аппаратуры. При работе в импульсном режиме, получаемые с его помощью импульсы могут найти особое применение в некоторых других электронных устройствах, например, в радарной технике.

Для более простых контрольных испытаний при производстве радиоэлектронной аппаратуры используются иногда схемы, подобные изображенным на рис. 96 и 97.

81. Генератор звуковых частот на транзисторе

Постановка опыта. Точно так же, как с ламповыми генераторами, с помощью транзисторных генераторов можно создать низкочастотные колебания. Резонансная частота колебательных контуров должна в этом случае быть достаточно низкой. Построим схему по рис. 98 и 99. Обратим внимание на то, что настоящая схема не ведет себя как «классический» передатчик; транзистор работает здесь в режиме, приближающем его к исследуемой в следующем разделе (И) работе транзистора в качестве переключателя и датчика импульсов. В представленной схеме хотя и применяется опять низкочастотная обратная связь через трансформатор, возбуждаются не синусоидальные, а релаксационные колебания, которые будут подробно рассмотрены в разделе И. В данном опыте мы ставим целью лишь возбуждение колебаний на какой-нибудь слышимой частоте.

В цепь базы включена, через конденсатор связи C_1 , обмотка 3-4 трансформатора. В цепь коллектора включена обмотка 1-2. Полярность обмоток выбрана таким образом, чтобы получилась (положительная) обратная связь. Возбуждаемые колебания настолько сильны, что во время каждого периода напряжение базы транзистора выводится далеко в положительную область характеристики, вследствие чего колебания срываются. Частота колебаний этого генератора зависит от постоянной времени, определяемой сопротивлением резистора R и общей емкостью конденсаторов C_1 и C . Кроме того, на величину частоты влияет величина напряжения смещения базы, устанавливаемая потенциометром P . Включенный в цепь коллектора гальванометр дает представление о величине коллекторного тока. Перед включением устройства

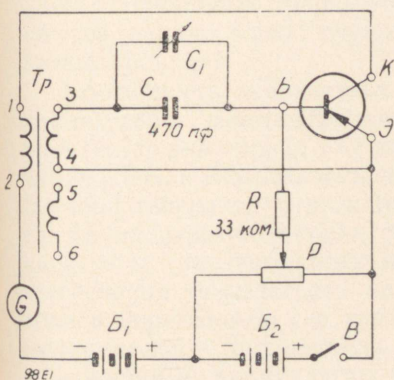


Рис. 98.

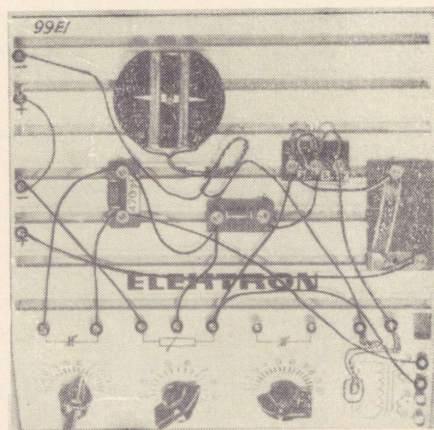


Рис. 99.

ставим скользящий контакт потенциометра (рис. 98), т. е. ключик (рис. 99), в крайнее левое положение, чтобы не испортить транзистора. Тогда, включив схему и повернув ключик потенциометра медленно направо, услышим в наушнике, подключенном к обмотке 5-6, четкий музыкальный тон, частота которого может регулироваться в широких пределах с помощью потенциометра P . Кроме того, в более узких пределах высота тона регулируется переменным конденсатором C_1 . Чем больше емкость этого конденсатора, тем ниже становится тон, так как постоянная времени цепи при этом увеличивается. Ключик потенциометра P не следует поворачивать слишком далеко вправо, чтобы не перегружать транзистора.

Результаты наблюдения. Применением обратной связи и звена RC можно возбуждать низкочастотные релаксационные колебания, слышимые в телефоне. Высота тона зависит при этом от величины постоянной времени цепи и напряжения базы транзистора.

Вывод. Просто создаваемый генератор звуковой частоты может найти многостороннее применение на практике. Схема очень удобна для упражнения в азбуке Морзе, причем выключатель B может служить телеграфным ключом. При этом напряжение с зажимов 5-6 трансформатора можно передавать к наушникам на расстояние и, таким образом, осуществлять тональную телеграфную связь по проводам. Далее, этот генератор можно использовать для проверки низкочастотной части радиоприемников, для испытания наушников, громкоговорителей и во многих других случаях.

И. ТРАНЗИСТОР В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОННОГО КОММУТАТОРА И ДАТЧИКА ИМПУЛЬСОВ

В этом разделе рассматривается особенно важная область применения транзистора. Транзистор, аналогично электронной лампе, может быть применен в качестве почти идеального электронного коммутатора (переключателя). Если, например, у электронной лампы сетку, имеющую сильное отрицательное смещение, сделать вдруг положительной, внутреннее сопротивление лампы резко понизится. Промежуток анод-катод лампы действует, таким образом, как выключатель. Для включения и выключения сравнительно незначительных токов, порядка десятка миллиампер, требуются при этом мощные лампы и значительные расходы по питанию. Транзистор в этом отношении более выгоден. При напряжении питания в несколько вольт можно построить четко работающий электронный выключатель, сопротивление которого во включенном состоянии составляет только доли ома. При этом, для управления выключателем, напряжение подается цепи база-эмиттер, а промежуток коллектор-эмиттер служит переключающим контактом. Для этой цели выпускаются даже специальные транзисторы. Для проведения самых важных опытов, однако, может служить и транзистор нашего ящика экспериментирования.

Способность транзистора работать в качестве переключателя найдет себе многостороннее применение. В последнем опыте транзистор действовал уже как «задвижка», которая периодически замыкалась и размыкалась под давлением сильной обратной связи. Блокинг-генератор, относящийся к этому классу схем, базируется также на переключающих способностях транзистора. То же относится к транзисторному мультивибратору. Важной областью применения транзистора является преобразование постоянного тока в переменный, где транзистор применяется вместо электро-механического прерывателя. Преобразователи постоянного тока в переменный применяются во многих радиоэлектронных устройствах, например, для питания анодной цепи в переносных приемниках, счетчиках Гейгера-Мюллера, фотовспышках и др.

Особенно большое значение имеет транзистор в триггерных схемах, находящихся широкое применение в счетно-решающих устройствах. В этих схемах особенно выгодно отражается малая требовательность транзистора в питании. В электронных счетно-решающих устройствах переключающие элементы (в том числе триггеры) применяются в очень больших количествах и в исполнении на электронных лампах потребление питания накала и анода очень велико. С транзисторами дело обстоит гораздо лучше.

Большим преимуществом транзистора является кроме того то, что с его помощью возможно сравнительно слабыми управляющими токами переключать относительно сильные токи. В электронной технике, располагающей в большинстве случаев только очень слабыми токами управления, транзисторный переключатель особенно выгоден. Транзистор ведет себя как реле, которое при совсем слабых токах управления способно переключать токи сравнительно большой величины.

82. Опыт, демонстрирующий коммутационные свойства резистора

Постановка опыта. Смонтируем схему по рис. 100 и 101. Перед этим убедимся, что выключатель B разомкнут! Лампочка L в комплекте ящика экспериментирования отсутствует. Для этой цели годится лампочка накаливания от карманного фонаря.

Схема состоит из двух цепей. Первая цепь управления, образуется из промежутка база-эмиттер, переменного резистора R , который здесь необходим только для защиты выключателя B и ба-

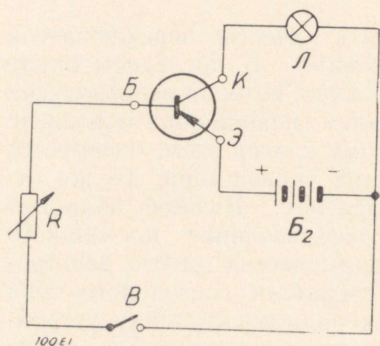


Рис. 100.

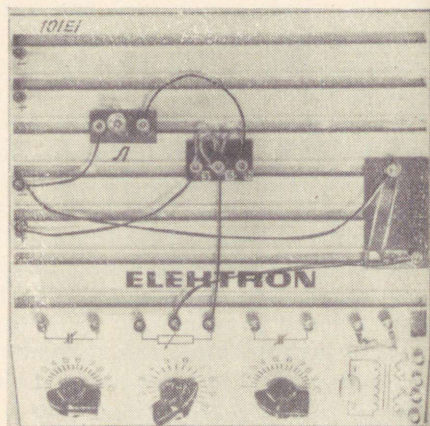


Рис. 101.

тарей B_2 . Последняя входит также во вторую управляемую цепь, образуемую промежутком эмиттер-коллектор, лампочкой L и батареей B_2 . Когда схема готова, нажмем на мгновение на выключатель B , так что база B транзистора на миг станет отрицательной по отношению к эмиттеру \mathcal{E} . При правильно отрегулированном резисторе R , лампочка вспыхнет, что свидетельствует о том, что почти полное напряжение батареи B_2 попадет на время нажатия выключателя на лампочку L . Лампочка загорается практически с той же яркостью, как при прямом закорачивании коллектора с эмиттером с помощью кусочка провода. Особое внимание надо обращать на то, чтобы выключатель B оставался бы замкнутым не дольше, чем нужно для оценки яркости горения лампочки. Ток, потребляемый лампочкой, 200 ма , а при таком большом коллекторном токе транзистор может испортиться уже за время, меньшее секунды. Поэтому следует этот опыт проводить быстро и много его не повторять.

Результат наблюдения. Опыт показал, что транзистор может работать как идеальный выключатель тока. Если базу транзистора сделать достаточно отрицательной по отношению к эмиттеру, промежуток коллектор-эмиттер станет проводящим и лампочка накаливания получит почти полное напряжение батареи. Из того факта, что яркость лампочки при этом приблизительно такая же, как при коротком замыкании эмиттера с коллектором, делаем вывод, что транзисторный выключатель работает с очень малыми потерями; это имеет во многих случаях большое значение.

Вывод. Свойство промежутка эмиттер-коллектор производить практически короткое замыкание, если между базой и эмиттером приложить надлежащее напряжение, используется для многих целей.

83. Блокинг-генератор на транзисторе

Постановка опыта. Блокинг-генератор на радиолампах знаком многим. Это — ламповый генератор с чрезмерно сильной обратной связью, снабженной контуром, состоящим из резистора R и конденсатора C , в сеточной цепи. При возникновении колебаний, сетка получает настолько сильное отрицательное смещение, что колебания срываются. После разрядки конденсатора C в цепи сетки снова возникают колебания, чтобы снова сорваться и т. д. Частота повторения таких отдельных импульсов колебаний зависит, главным образом, от постоянной времени RC контура, т. е. от произведения сопротивления R и емкости C .

Вместо радиолампы в блокинг-генераторе можно использовать транзистор. Соответствующая схема изображена на рис. 102

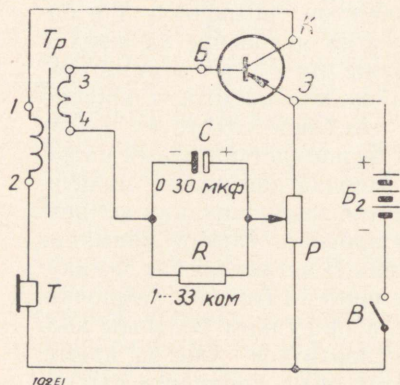


Рис. 102.

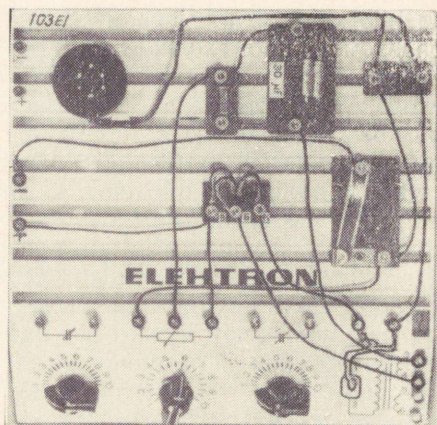


Рис. 103.

и 103. В цепи базы лежит обмотка 3-4, в цепи коллектора — обмотка 1-2 трансформатора T_p . Последовательно с обмоткой 3-4 включен контур RC . Напряжение смещения базы берется с потенциометра P . В цепи коллектора имеется еще наушник (телефон T) для наблюдения появляющегося тона. Когда схема готова, при включении выключателя B слышится в телефоне музыкальный тон, высота которого регулируется в широких пределах с помощью потенциометра P . Если переменить сопротивление резистора R с 33 ком на $5,1$ или 1 ком , высота тона также изменится. Против ожидания, с уменьшающейся постоянной времени тон становится ниже. Должно же быть наоборот! Однако в этой схеме играют роль еще электрические параметры обмоток трансформатора и поэтому не удастся получить «чистого» результата. Это видно еще из того, что если совсем убрать конденсатор C , тон станет еще ниже. С помощью регулировки потенциометром P можно понизить тон до «частоты капанья». С этой схемой можно провести интересные опыты, но она может также найти некоторое практическое применение.

Результат наблюдения. В схеме с обратной связью по рис. 102 и 103 возбуждаются низкочастотные колебания, частота которых зависит от напряжения смещения базы и от постоянной времени RC . Получаемый тон слышен в наушнике; его частоту можно изменять с помощью регулировки смещения и подбором емкости и сопротивления контура RC . Правильная полярность обмоток трансформатора конечно важна; если переменить концы одной из катушек обратной связи, то блокинг-эффекта уже не получится.

Вывод. Транзисторный блокинг-генератор дает тон, регулируемый в широких пределах и используемый так же, как в опыте

81 для практических целей, например, в установке для упражнения ключом Морзе, в генераторе звуковой частоты для радиоремонтных мастерских и т. д.

84. Аппарат для электризации на транзисторе

Постановка опыта. Используя коммутирующую способность транзистора можно малое напряжение постоянного тока, в данном случае 4,5 вольт батареи карманного фонаря, превратить в сравнительно высокое пиковое напряжение. По закону индукции в обмотке катушки возникает высокое напряжение, если внезапно прервать протекающий в ней ток. При прерывании тока магнитное поле катушки быстро исчезает и резкое изменение магнитного поля вызывает в катушке напряжение, пропорциональное скорости изменения магнитного поля и коэффициенту самоин-

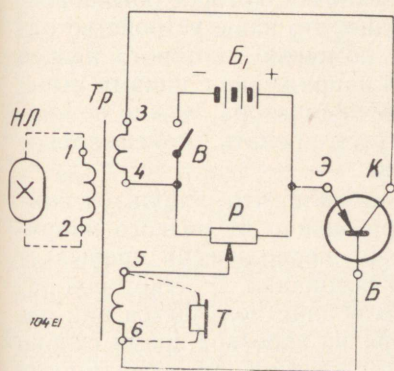


Рис. 104.

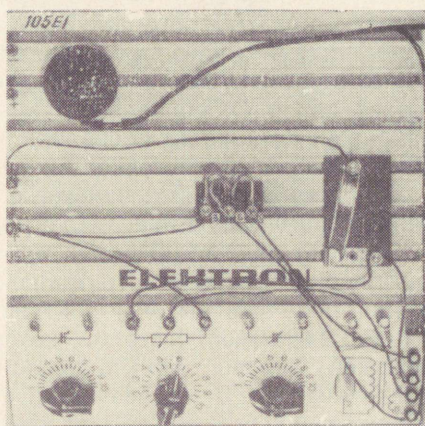


Рис. 105.

дукции катушки. Транзистор является идеальным выключателем для прерывания тока катушки. Смонтируем схему по рис. 104 и 105. Здесь перед нами также устройство с обратной связью, как на рис. 102 и 103. Отсутствуют лишь ограничительные сопротивления, так что переключаемые токи станут довольно большими. Поэтому необходимо соблюдать осторожность при обращении с устройством, чтобы не испортить транзистора. Монтаж следует провести обязательно при открытом выключателе *В*. В цепи базы лежит сравнительно низкоомная обмотка 5-6 трансформатора *Тр*; обратная связь осуществляется обмоткой 3-4 в цепи

коллектора. Обмотка 1-2 имеет наибольшее число витков, вследствие чего на ней получается в этом опыте наивысшее напряжение.

Перед включением выключателя *B*, передвинем скользящий контакт потенциометра (рис. 104) в крайнее правое положение, что соответствует крайнему левому положению ключика потенциометра на рис. 105. Параллельно обмотке 5-6 подключим телефон *T*. При включении устройства нажатием на *B* услышим в телефоне музыкальный тон, который понижается при вращении ключика на 1... 2 градуса. Касаясь теперь обоими указательными пальцами зажимов 1-2 трансформатора, почувствуем заметное, но совершенно безопасное колющее ощущение в концах пальцев — признак высокого напряжения. При этом высота тона изменится из-за нагрузки трансформатора. Если тон срывается, колебание можно вызвать снова, осторожно поворачивая ключик потенциометра вправо. В определенном положении потенциометра условия работы схемы оптимальны — колющее ощущение сильнее всего. Если у нас имеется лампочка тлеющего разряда (неоновая лампа), можем ее включить параллельно обмотке 1-2. Если неоновая лампа *НЛ* загорается — значит напряжение на зажимам 1-2 не ниже нужного для загорания лампочки, которое обыкновенно лежит выше 70 вольт. Из этого видно, что наше устройство работает как вибропреобразователь, с помощью которого низкое напряжение 4,5 вольт превращается в напряжение с пиками выше 70 в. Пользуясь лампочкой в качестве индикатора, можно по наибольшей яркости лампочки легко отрегулировать максимальное напряжение, получаемое от устройства.

Результаты наблюдения. Мы установили, что используя коммутирующую способность транзистора можно из низкого напряжения получить высокое. Транзистор периодически прерывает колебания низкой частоты, которые возникают (с некоторой задержкой) заново. При появлении колебаний получается пик напряжения, делающий базу транзистора на короткое время сильно положительной, что, в свою очередь, уничтожает проводимость промежутка эмиттер-коллектор. Ток в обмотке 3-4 прерывается и вследствие этого в обмотке 1-2 индуцируется (наводится) высокое напряжение, обнаруживаемое по электризирующему действию или с помощью неоновой лампочки.

Вывод. Транзистор заменяет дорогой и неэкономичный механический вибропреобразователь. В соответствующей схеме для прерывания тока в первичной обмотке повышающего трансформатора можно применять транзистор. Получаемое таким образом высокое напряжение может быть использовано, например, как напряжение для испытания на пробой деталей, для электризации, для питания ламп тлеющего заряда и т. д. Рассмотренное в этом опыте устройство является основным узлом описываемого далее преобразователя постоянного напряжения.

85. Транзисторный преобразователь постоянного напряжения

Постановка опыта. С помощью схемы рис. 104 и 105, которую оставим без изменений, можем построить преобразователь постоянного напряжения. Для этого необходимо только выпрямить появляющееся на обмотке 1-2 трансформатора пиковое напряжение. Хотя пики напряжения, получаемого в предыдущем опыте уже имеют преобладающую полярность, тем не менее выпрямление их необходимо для устранения появляющихся меньших пиков обратной полярности. Поэтому подключим к зажиму 1 (рис. 106)

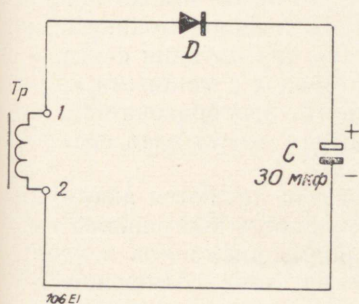


Рис. 106.

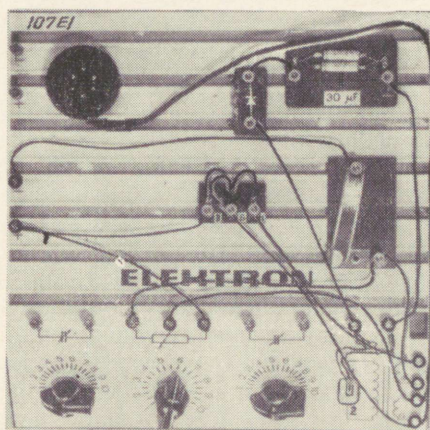


Рис. 107.

диод D в пропускном направлении, другой конец которого соединим с плюсовым полюсом электролитического конденсатора C . Минусовый полюс этого конденсатора соединяется с зажимом 2 трансформатора. В остальной схеме предыдущего опыта как видно из рис. 107, остается без изменений.

Если включить выключатель B и отрегулировать потенциометр P , как в опыте 84, услышим в телефоне музыкальный тон. После появления тона оставим схему включенной примерно на 10...20 секунд и затем выключим. Тогда возьмем гальванометр, дадим его стрелке успокоиться и подсоединим концы гальванометра к конденсатору C . Наблюдаем сильное отклонение стрелки гальванометра. Если после отключения дать гальванометру успокоиться и подключить его снова, отклонение стрелки повторится, но оно будет уже меньше и будет убавляться дальше. Этот опыт доказывает, что конденсатор был заряжен постоянным напряжением. Мы можем повторить опыт сначала и поменять концы гальванометра — получим отклонение стрелки в обратном направлении, что является доказательством того, что имеем дело с чистым постоян-

ным напряжением. К сожалению, этого напряжения не достаточно для зажигания неоновой лампочки.

Результат наблюдений. Если выпрямлять получаемые от соединенной с прерывателем тока катушки пики напряжения (импульсы) и зарядить полученными импульсами конденсатор, последний зарядится до некоторого среднего значения напряжения постоянного тока. Так как заряд конденсатора непрерывно пополняется, можно от этого устройства получить постоянный ток любой длительности.

Выводы. Простой транзисторный прерыватель в комбинации с выпрямителем и конденсатором образуют преобразователь постоянного тока. Такое устройство дает возможность получения сравнительно высокого напряжения постоянного тока из совсем низкого. Преобразователь постоянного тока широко применяется, например, в переносных радиоустройствах, в которых наряду с транзисторами имеются радиолампы, требующие высокого анодного напряжения. Такие же преобразователи малой мощности, но более высокого напряжения используются для питания счетчиков Гейгера-Мюллера. На мощных транзисторах и с мощными источниками постоянного тока можно построить преобразователи, которые как и вращающиеся преобразователи, могут дать постоянный ток значительной мощности.

В большинстве случаев такие устройства питаются аккумуляторами большой емкости. Отдаваемая мощность постоянного тока тогда достаточна для более крупных радиоприемников и усилителей, а также для других потребителей тока. Имеющиеся в продаже лампы-вспышки (импульсные лампы) питаются от преобразователя постоянного тока на транзисторах. Во всяком случае, преобразователь постоянного тока на транзисторе является очень практичным и эффективным устройством.

86. Сигнальный предупредительный прибор, реагирующий на акустические сигналы

Постановка опыта. Схема, которую построим по рис. 108 и 109, на практике может оказаться очень полезной. Она представляет собой устройство, которое реагирует на звуковую частоту, например, на музыку и речь, загоранием лампочки. Устройство очень простое и основывается на коммутационной способности транзистора. В цепь базы включена обмотка 3-4 трансформатора *Tr*. Нижний конец обмотки подсоединен к потенциометру *P* для подбора рабочей точки. Потенциометр включен (через выключатель *B*) параллельно батарее *B*₂. В цепь коллектора включена лампочка накаливания *L*, которую можем взять из карманного фонаря. Во время монтажа схемы выключатель должен быть разомкнут и ключик потенциометра должен находиться в крайнем

левом положении. Будьте осторожны при регулировке потенциометра!

Теперь соединим зажимы 5-6 трансформатора с каким-нибудь источником звуковой частоты, например, с низкоомным выходом радиоприемника (с гнездами для добавочного громкоговорителя). После этого нажмем на выключатель *В* и при выключенном приемнике заметим, в каком положении ключика потенциометра лампочка слабо накаливается. Для этого ключик должен быть повернут довольно далеко вправо. Затем включим

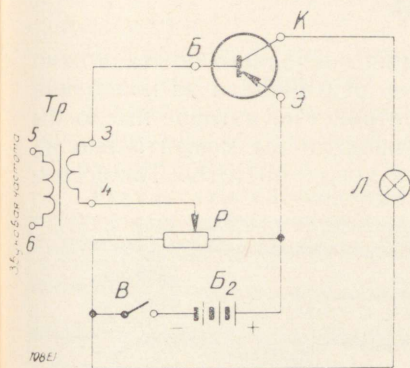


Рис. 108.

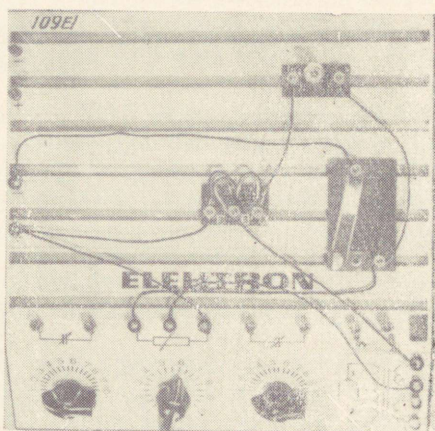


Рис. 109.

приемник и настроим его на какую-нибудь станцию. При осторожном добавлении мощности регулятором громкости яркость лампочки будет колебаться в режиме музыки или речи, из чего видно, что транзистор управляется звуковой частотой. Лампочка для предотвращения порчи транзистора не должна загораться слишком ярко.

Результаты наблюдения. С помощью транзистора удастся превратить акустические сигналы в оптические. Звуковая частота управляет цепью базы, причем в цепи коллектора находится лампочка накаливания, показывающая наличие напряжения звуковой частоты.

Выводы. Описанное акустическое предупредительное устройство может найти разностороннее практическое применение. Создается возможность защиты помещений не только оптическими предупредительными сигналами, но и акустическими. Например, для защиты помещения от взлома, ставят в нем на незаметном месте микрофон, соединенный с усилителем. Низкоомный выход усилителя соединяется с зажимами 5-6 (рис. 108) предупреди-

тельного устройства. Шум вторжения в помещение вызывает зажигание находящейся на расстоянии, например, у сторожа, лампочки. Вместо лампочки может включаться также какой-нибудь другой вид сигнала тревоги — гудок, звонок и т. п. Это предупредительное устройство может также быть использовано для сигнализации на расстояние о наличии шума или звука от какой-нибудь работающей установки, зверя, взрыва и т. п. С помощью акустического сигнала можно также включить мотор, открыть дверь гаража, ворота и т. д., конечно, с включением вместо лампочки обмотки реле.

87. Сигнальный предупредительный прибор с временной задержкой

Постановка опыта. При проведении последнего опыта можно было наблюдать, что лампочка быстро реагировала на колебания громкости звука. Иногда требуется устройство, которое имело бы некоторую инертность, т. е. не реагировало бы моментально на малейшие изменения напряжения звуковой частоты. Такой вы-

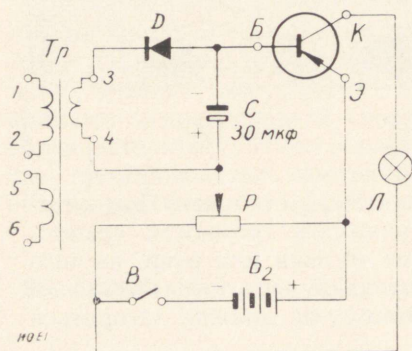


Рис. 110.

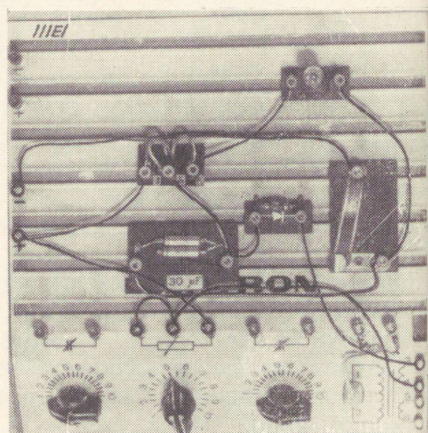


Рис. 111.

держки можно достичь со схемой по рис. 110 и 111. В цепь базы транзистора включен электролитический конденсатор C (обратите внимание на его правильную полярность!).

Этот конденсатор заряжается через германиевый диод D . Германиевый диод подключается к напряжению звуковой частоты, получаемому от обмотки 3-4 трансформатора. Зарядка конденсатора займет некоторое время, которым и обуславливается желаемая выдержка. Рабочая точка транзистора выбирается с помощью потенциометра P , передвигая подвижный контакт

(рис. 110) в крайнее левое положение, что соответствует крайнему правому положению ключика на рис. 111. Если, при отсутствии напряжения звуковой частоты, включить устройство, лампочка не будет гореть потому, что база не получает отрицательного напряжения смещения. Но, подключив к зажимам 1-2 (для высокоомных источников) или к зажимам 5-6 (для низкоомных источников) напряжение звуковой частоты, конденсатор C будет постепенно заряжаться, причем таким образом, что база транзистора становится отрицательной относительно эмиттера. Мы видим теперь, что на этот раз лампочка горит спокойнее, чем в предыдущем опыте; она не следует изменениям амплитуды напряжения звуковой частоты мгновенно, а с заметной выдержкой.

Будьте осторожны при регулировке потенциометра P !

Можно подключить напряжение низкоомного выхода радиовещательного приемника к зажимам 5-6 или к зажимам 1-2 трансформатора, если выход приемника высокоомный. Напряжение, конечно, должно быть достаточным для обеспечения полной загрузки транзистора.

Результаты наблюдений. С добавлением конденсатора получается выдержка в срабатывании предупредительного устройства; схема и принцип работы остаются такими же, как в предыдущем опыте.

Выводы. Введением в схему некоторых простых деталей достигается выдержка реагирования предупредительного устройства, что во многих практических случаях имеет значение. Иногда требуется, чтобы каждый щелчок, получаемый, например, при включении освещения и т. п., не вызывал бы срабатывания предупредительного устройства.

88. Однотактный (моностабильный) мультивибратор

Постановка опыта. Заметим, что построить настоящий моностабильный мультивибратор с помощью ящика экспериментирования, к сожалению, невозможно, так как для этого требуется два транзистора. Все же опытная модель, схема которой изображена на рис. 112 и 113, показывает самое существенное.

Моностабильный мультивибратор является устройством, имеющим только одно электрически стабильное состояние. Схема может перейти и в другое состояние, которое, однако, не является стабильным, т. е. мультивибратор через определенное время возвращается в первоначальное стабильное состояние. В действительных схемах этот возврат происходит чрезвычайно быстро, что обусловлено применяемой в них обратной связью. Ввести такую обратную связь в нашу схему мы не сможем. Несмотря на

это и наша схема представляет устройство со стабильным и нестабильным состояниями, которые и выявляются в опыте.

В схеме рис. 112 и 113 в цепь базы транзистора включен резистор R_1 . Передвинем подвижной контакт потенциометра P (рис. 112) в крайнее нижнее положение, т. е. клювик на рис. 113 в крайнее левое положение, так что между базой и эмиттером не будет напряжения. В таком случае в нормальной схеме не

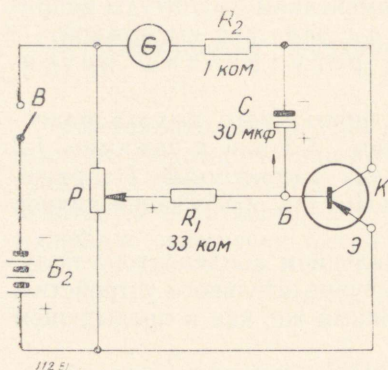


Рис. 112.

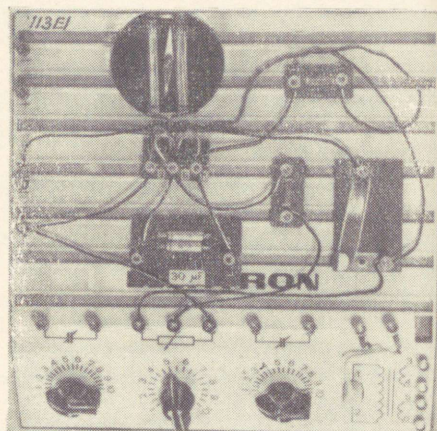


Рис. 113.

было бы и тока коллектора. В цепь коллектора включен резистор R_2 и гальванометр G . Коллектор через электролитический конденсатор C емкостно связан с базой. При включении выключателя B происходит следующее: коллектор вдруг становится отрицательным, причем база положительна, так как она соединена с плюсом батареи B_2 . Вследствие этого ток заряда течет через R_1 , C и R_2 и обуславливает то, что база становится отрицательной. Ток течет в направлении стрелки (рис. 112), так что на резисторе R_1 получается падение напряжения с указанной на рисунке полярностью. Поэтому в момент включения течет очень сильный ток коллектора, так как база отрицательна. Но как только конденсатор полностью зарядится, ток заряда прекращается, база опять становится более положительной и ток коллектора постепенно падает опять до нуля. Протекание этого процесса можно проследить по гальванометру. После размыкания выключателя немного подождем, пока конденсатор C через R_1 , P , G и R_2 разрядится, и повторим опыт. Наблюдается то же самое.

Результат наблюдения. Опыт показывает, что схема обладает одним устойчивым и одним неустойчивым рабочим состоянием. В неустойчивом рабочем состоянии схема находится в мо-

мент включения, когда конденсатор C еще не заряжен. Пока течет ток заряда, течет также большой ток коллектора. По мере зарядки конденсатора система медленно возвращается в устойчивое состояние, которое достигается, когда конденсатор зарядится до своего максимального напряжения. Ток коллектора тогда исчезнет, так как база транзистора уже не будет иметь напряжения относительно эмиттера. Это состояние сохраняется до выключения и повторного включения схемы по истечении некоторого времени. Затем весь цикл повторяется.

Вывод. Схема рис. 112 и 113 представляет электрическую систему с устойчивым и неустойчивым рабочим состоянием. Такие схемы в электронике часто используются в случае, если требуется задержка одного процесса относительно другого. Тогда схема строится таким образом, что устойчивое состояние включает задерживаемый процесс. Время выдержки зависит от постоянной времени, равной произведению емкости C и сумме сопротивлений. Подобные схемы часто используются в импульсной технике.

89. Двухтактный мультивибратор

Постановка опыта. Мы можем сделать только мысленный эксперимент, поскольку в ящике экспериментирования не хватает деталей для проведения этого опыта. Другое дело, если приобретем второй транзистор. В схеме используются два транзистора, которые воздействуют друг на друга таким образом, что когда один — любой из них — находится в устойчивом рабочем состоянии, то другой будет в неустойчивом состоянии, причем подаваемый извне импульс нарушает это состояние таким образом, что тот транзистор, который был в неустойчивом рабочем состоянии переходит в устойчивое и наоборот, т. е. каждый проходящий извне импульс меняет состояние транзистора на противоположное.

Результат наблюдения. С помощью двух транзисторов можно построить схему которая имеет два, отличающихся друг от друга, стабильных состояния. Подаваемыми извне импульсами напряжения эти состояния переходят из одного в другое.

Вывод. Описанная схема имеет большое значение в импульсной технике, например, в электронных вычислительных машинах и т. д. Она представляет собой элемент «электрической памяти», так как состояние схемы показывает («помнит»), была ли она подвержена действию импульса или нет.

90. Самовозбуждающийся мультивибратор

Постановка опыта. Этот опыт мы также можем провести только мысленно, поскольку в ящике экспериментирования для

него не хватает нужных деталей. Схема опять содержит два транзистора, которые связаны друг с другом через контур RC . Как в мультивибраторе, известном из ламповых схем, система одного транзистора запирает систему другого, причем конденсаторы связи нужны для того, чтобы запирающее происходило самостоятельно, без внешнего воздействия. В самовозбуждающемся мультивибраторе одно состояние автоматически переходит в другое, причем быстрота чередования состояний зависит от постоянной времени контура связи.

Результат наблюдения. Связывая два транзистора контуром RC , получим самовозбуждающийся мультивибратор, частота которого определяется постоянной времени RC .

Вывод. Самовозбуждающиеся мультивибраторы могут генерировать переменные напряжения, форма которых, однако, синусоидальна, а приближается к прямоугольной. Именно из-за этого такие мультивибраторы используются при генерировании прямоугольного напряжения, часто необходимо в импульсной технике. Нестабильные мультивибраторы встречаются также в электронных вычислительных машинах.

К. ТРАНЗИСТОР В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Очень важное применение транзистор находит в измерительной технике. Это понятно потому, что от измерительного прибора — даже более сложного — часто требуется легкая транспортабельность. В измерительных устройствах радиолампы до сих пор играли ведущую роль. Однако они требуют больших источников питания, питания от сети; необходимые для этого элементы схемы сильно увеличивают вес и габариты прибора. Транзисторы в этом отношении более удобны, так как необходимые для их питания сухие батареи занимают мало места и их масса мала. Следующие опыты показывают некоторые примеры применения транзисторов в измерительной технике.

91. Чувствительный миллиамперметр на транзисторе

Постановка опыта. Наш гальванометр является по существу измерителем тока. Он хорошо реагирует еще на токи величиной $0,5 \text{ ма}$. Если же включить на вход гальванометра транзистор по схеме с общим эмиттером, усиление по току последнего заметно повышает чувствительность. Включая в цепь основания ток примерно $0,5 \text{ ма}$ и принимая усиление транзистора по току хотя бы только в 20 раз, получим ток коллектора $0,5 : 20 = 10 \text{ ма}$. Гальванометр стал таким образом в 20 раз более чувствительным. Если гальванометр в цепи коллектора дает теперь отклонение, соответствующее коллекторному току $0,5 \text{ ма}$, измеряемый ток в цепи базы будет $0,5 : 20 = 0,025 \text{ ма}$. Этот ток очень мал.

Такой прибор нетрудно собрать по схеме рис. 114 и 115. В цепи эмиттера находится батарея B_2 , в цепи коллектора — гальванометр G и выключатель B . Пустая панелька A с зажимами включается в цепь, ток которой хотят измерить. Мы будем удивлены, насколько малые токи дают заметное отклонение стрелки гальванометра. Если, например, соединить минусовый конец первой батареи нашего ящика с зажимом, который соединен с базой транзистора B и прикоснуться мокрым пальцем одной руки к плюсовой клемме этой же батареи, а пальцем другой руки к

эмиттеру транзистора, то стрелка гальванометра будет сильно отклоняться. Проводя такой эксперимент с простым гальванометром, т. е. без транзистора, никакого отклонения гальванометра не получим.

При длительном включении прибора, для предотвращения перегрева транзистора, следует включить ограничительный резистор R сопротивлением 1 ком последовательно с гальванометром G (см. опыт 59).

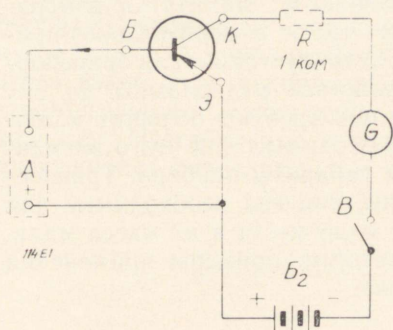


Рис. 114.

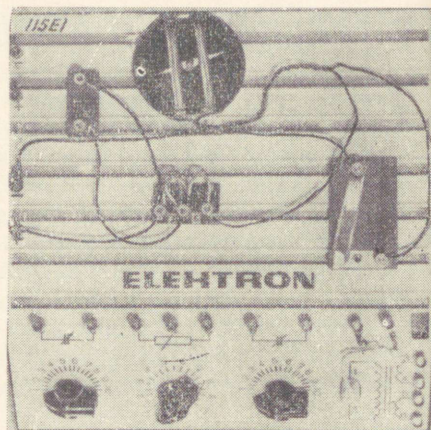


Рис. 115.

Результат наблюдения. Усиление по току транзистора повышает чувствительность гальванометра во столько раз, чему равен коэффициент усиления транзистора в схеме с общим эмиттером.

Вывод. Входящие в схему рис. 114 и 115 составные детали имеют очень малые размеры. При использовании маленькой цилиндрической батареи можно всю схему поместить в кожух стрелочного прибора. Получается амперметр, чувствительность которого повышена соответственно коэффициенту усиления по току транзистора.

92. Чувствительный вольтметр на транзисторе

Схема по рис. 114 и 115 может быть использована также для измерения малых напряжений. Для этого включаем в разрыв провода, идущего от базы B транзистора к минусовому зажиму панельки A , резистор. Сопротивление этого резистора определяет пределы измерения получаемого таким образом вольтметра. Со-

противление резистора должно быть большим по сравнению с внутренним сопротивлением источника измеряемого напряжения. Это необходимо для получения достаточной точности измерения. Тогда в цепи базы ток, вызываемый измеряемым напряжением, будет зависеть практически только от величины этого постоянного сопротивления. При желании можно получаемый таким образом вольтметр калибровать, включая параллельно зажимам панельки А чувствительный образцовый вольтметр и подавая на эти зажимы разные напряжения. Отмечаем показания гальванометра, соответствующие этим напряжениям. По полученным результатам можем построить калибровочную кривую транзисторного вольтметра. Рекомендуется включение защитного ограничительного резистора как в опыте 91.

Результаты наблюдения. Включением добавочного резистора в цепь базы схемы по рис. 114 получается схема вольтметра, во столько раз превышающая чувствительность стрелочного прибора, во столько раз транзистор дает усиление по току.

Вывод. Простыми средствами можно в значительной степени поднять чувствительность вольтметра. Для этого требуется лишь один транзистор, добавочный резистор и малогабаритная батарея.

93. Чувствительный омметр на транзисторе

Постановка опыта. Используя предыдущие схемы можем введением малого изменения построить очень чувствительный транзисторный измеритель сопротивлений. Зажимы панельки А подсоединим на этот раз к базе В транзистора и через выключатель

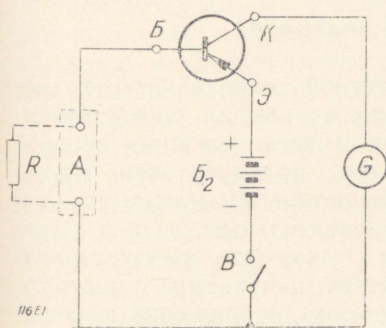


Рис. 116.

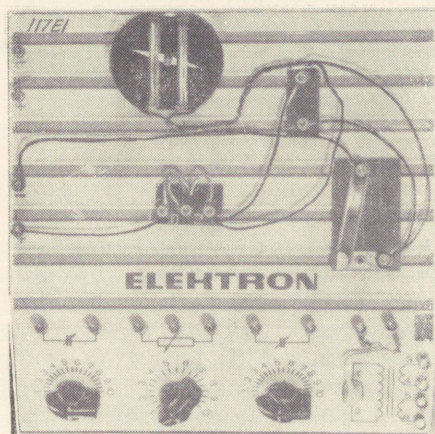


Рис. 117.

В к минусовому полюсу батареи B_2 (рис. 116 и 117). Если подключить измеряемый резистор R к зажимам панельки A , то в цепи базы потечет ток, так как база, соединенная через R с отрицательным полюсом батареи, будет отрицательной относительно эмиттера. Сила тока зависит от величины измеряемого сопротивления. Вследствие этого ток в цепи коллектора, измеряемый гальванометром, также будет зависеть от величины измеряемого сопротивления и может служить мерой сопротивления. Чем сильнее будет ток, тем меньше сопротивление. Чувствительность схемы, получаемая за счет усиления транзистора, создает возможность для измерения очень больших сопротивлений. Из-за усиления по току транзистора достаточно чрезвычайно слабых токов для получения еще хорошо отсчитываемого отклонения стрелки гальванометра G .

Следует остерегаться перегрева транзистора (см. опыт 91!).

Результаты наблюдений. Маленьким изменением в схеме предыдущего опыта можем на транзисторе построить измеритель сопротивлений большой чувствительности.

Вывод. Измерители сопротивлений вышеописанного типа применяются на практике: во-первых они позволяют проводить измерение больших сопротивлений резистора при сравнительно малом измерительном напряжении, что простыми схемами измерителей сопротивлений возможно лишь при наличии чрезвычайно чувствительного гальванометра. Во-вторых, нагрузка измеряемого резистора измерительным током совершенно незначительна, что иногда очень важно, так как встречаются резисторы, которые выдерживают нагрузку только совсем слабыми токами. Из-за этого целесообразно применять транзисторный измеритель сопротивлений во всех случаях, когда приходится мерить очень высокоомные сопротивления или если требуется малое измерительное напряжение. Детали этой схемы занимают очень мало места, так что прибор получается совсем небольшой.

94. Транзисторный волномер

Постановка опыта. В высокочастотной технике часто встречается необходимость измерения длины волны или, соответственно, частоты. В опыте 29 мы уже ознакомились с простым абсорбционным волномером, который, однако, обладает очень малой чувствительностью. С помощью транзистора мы можем сделать это устройство существенно более чувствительным, если в схеме (рис. 118 и 119) на выход детектора D включить транзисторный усилитель постоянного тока. Как известно, получаемое с настраиваемого колебательного контура волномера напряжение высокой частоты выпрямляется детектором D . Выпрямленное напряжение снимается с резистора R и подводится к базе транзистора, причем

с такой полярностью, что повышение напряжения на R вызывает приращение тока коллектора. Для этого диод D включают в таком направлении, чтобы на верхнем конце резистора R получилось бы отрицательное напряжение, которое подводится к базе транзистора

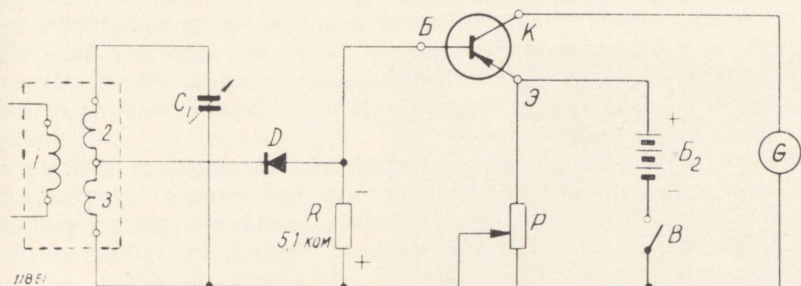


Рис. 118.

ра. Нижний конец резистора R соединяется со скользящим контактом потенциометра P для точной регулировки напряжения смещения. Напряжение, частоту которого хотят измерить, подключается к обмотке I катушки. Перед этим следует отрегулировать потенциометр так, чтобы коллекторный ток был минимальным. Если подключить теперь измеряемое напряжение и медленно вращать клювик переменного конденсатора C_1 , в определенной точке настройки получается максимум отклонения стрелки гальванометра G . В этой точке колебательный контур точно настроен на измеряемую частоту и напряжение высокой частоты на колебательном контуре максимально. В связи с этим напряжение постоянного тока на резисторе R также максимально и стрелка гальванометра дает максимальное отклонение. При регулировке потенциометра P следует быть осторожным! (см. опыт 91).

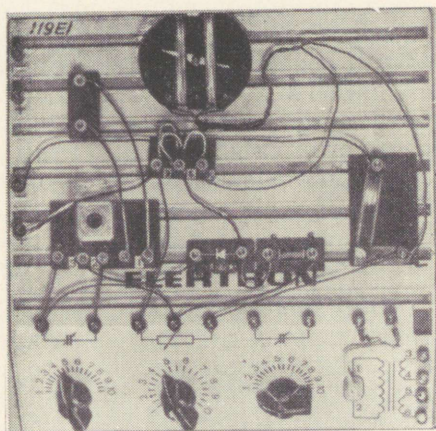


Рис. 119.

Калибровку волномера можно производить при наличии сигнал-генератора. Сигнал-генератор подключен к обмотке I и ставится на определенную частоту. Тогда настраивают на макси-

нить (и улучшить), как показано на рис. 120 и 121. В этой схеме используется известный уже из схем приемников способ емкостной связи с базой транзистора. Цепь диода остается как в предыдущей схеме, с той лишь разницей, что диод включен в обратном направлении. Когда измеряемое напряжение высокой частоты модулировано, на резисторе R_1 получается напряжение звуковой частоты, которое усиливается емкостно связанным транзисторным услителем переменного напряжения и может затем восприниматься телефоном, включенным в цепь коллектора или гальванометром G , как показано на схеме. При настройке на резонансную частоту гальванометр дает хорошо заметное отклонение стрелки. Будьте осторожны при регулировке P ! (см. опыт. 91).

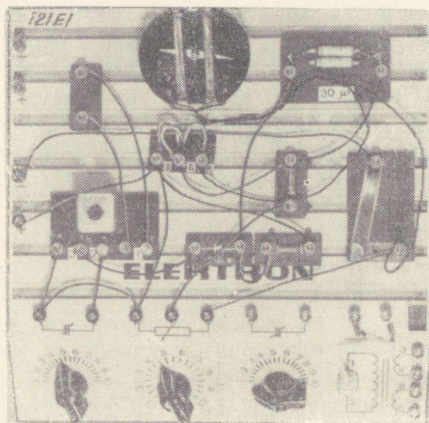


Рис. 121.

Напряжение звуковой частоты передается базе транзистора через конденсатор C . С помощью потенциометра P регулируется рабочая точка таким образом, чтобы ток коллектора (при отсутствии измеряемого напряжения) был едва заметным. Мы увидим, что тогда эта схема чувствительнее предыдущей, а также более точна в настройке на частоту, так как затухание колебательного контура меньше (диод шунтирует контур меньше, чем цепь базы транзистора).

Результат наблюдения. При емкостной связи базы, т. е. при передаче напряжения сигнала на базу транзистора через конденсатор, можно мерить частоту только модулированных передатчиков, так как постоянное напряжение через конденсатор C не проходит. Однако такая схема чувствительнее, потому что влияние затухания цепи базы на колебательный контур меньше, чем в схеме предыдущего опыта.

Наилучшим средством наблюдения резонанса с этим частотомером является телефон.

Вывод. Для измерения частоты модулированных источников напряжения высокой частоты можно использовать схему с емкостной связью транзистора и получить при этом еще большую чувствительность, чем со схемой предыдущего эксперимента. На практике эта схема может пригодиться.

96. Транзисторный измеритель индуктивности

Постановка опыта. Прибором, построенным по схеме рис. 120 и 121 можно измерять индуктивности (коэффициенты самоиндукции) катушки. Для этого подсоединяют сигнал-генератор к обмотке I катушки и выбирают частоту таким образом, чтобы колебательный контур при полностью выведенном переменном конденсаторе C_1 был настроен в резонанс. Если теперь параллельно конденсатору C_1 включить измеряемую катушку, потребуется увеличение емкости конденсатора C_1 для восстановления резонанса, выражающегося в максимуме громкости тона в телефоне, потому что параллельным включением катушки общая индуктивность контура уменьшилась. Прибор, разумеется, можно калибровать с помощью набора катушек с известными индуктивностями, если такими располагают. Эти катушки подключают параллельно конденсатору C_1 и фиксируют градусы шкалы переменного конденсатора в положении максимума громкости в телефоне для каждой известной индуктивности. Значения индуктивности вносятся в координатную систему в зависимости от градусов шкалы. Плавная кривая, соединяющая полученные точки, представляет калибровочную кривую измерителя индуктивности. Конечно, частота сигнал-генератора должна при этом оставаться постоянной. При этой же частоте в дальнейшем производится измерение величин неизвестных индуктивностей.

Результаты наблюдения. Со схемой частотомера в соединении с сигнал-генератором можно производить измерение индуктивностей. Измеряемые катушки включаются параллельно переменному конденсатору настройки контура частотомера.

Вывод. Схемы частотомеров могут быть использованы также для измерения индуктивностей. С подобными схемами можно построить универсальные транзисторные измерительные приборы.

97. Транзисторный измеритель емкости

Постановка опыта. Схема, изображенная на рис. 120 и 121, пригодна также для измерения емкости. Как описано в предыдущем опыте, используется сигнал-генератор, подключаемый к обмотке I катушки. Частота сигнал-генератора подбирается таким образом, чтобы колебательный контур частотомера был в резонансе при полностью введенном переменном конденсаторе. Если теперь включить параллельно переменному конденсатору измеряемый конденсатор, то для восстановления резонанса потребуется уменьшение емкости переменного конденсатора на величину емкости измеряемого конденсатора. Прибор просто калибруется. Для этого используем конденсаторы известной емкости, включим

их параллельно контуру и отметим необходимое для восстановления резонанса положение переменного конденсатора в градусах шкалы. В координатную систему внесем величину емкости известных конденсаторов в зависимости от градусов шкалы переменного конденсатора. Соединив полученные точки плавной кривой, будем иметь калибровочную кривую прибора. При этих измерениях частота сигнал-генератора не должна изменяться.

Результаты наблюдений. Прибор, описанный в опыте 95. может быть использован не только для измерения частот и индуктивностей, но и для измерения емкостей.

Вывод. Этот опыт подтверждает универсальные возможности схемы опыта 95. При умелом обращении это устройство может быть использовано для различных целей.

98. Гетеродинный волномер на транзисторе

Постановка опыта. Имеется возможность для построения частотомеров еще других типов. Схема опыта 73 и 74 может служить частотомером гетеродинного типа. С успехом могут также быть использованы в качестве частотомеров схемы других регенеративных приемников. Особенно подходящими являются схемы, изображенные на рис. 88 и 89, и 90, и 91. Эти устройства работают в состоянии самовозбуждения как частотомеры. Измеряемое напряжение прикладывается к зажимам А и З. Переменный конденсатор C_1 вращают до появления интерференционного свиста в телефоне. При настройке на самый низкий тон свиста частота колебательного контура приемника равна измеряемой частоте. Калибровку можно производить настроив приемник на знакомые частоты и отмечая каждый раз положение ключика переменного конденсатора C_1 . На основании полученных значений строят калибровочную кривую, как в предыдущих опытах. Этот опыт категорически воспрещается производить с включенной антенной и присоединенным заземлением, чтобы не вызывать помехи у соседей радиоустройств. То же самое надо соблюдать в опытах 99, 100 и 101.

Результат наблюдений. Мы видели, что регенеративный транзисторный приемник может быть с успехом использован в качестве гетеродинного частотомера. Равенство генерируемой в приемнике частоты с измеряемой частотой обнаруживается свистом в телефоне. Полное совпадение частот имеет при самом низком тоне или когда он становится уже не слышимым.

Вывод. Этот опыт показывает универсальную применимость некоторых схем. Регенеративный приемник может быть использован для измерения частоты.

99. Измеритель индуктивности без сигнал-генератора

Постановка опыта. В опыте 96 требовался сигнал-генератор. Так как каждый таким генератором не располагает, то укажем схему, в которой сигнал-генератора не требуется. Смонтируем схему по рис. 122 или 123. Она состоит из самовозбуждающегося генератора (передатчика) на транзисторе по схеме с общей базой.

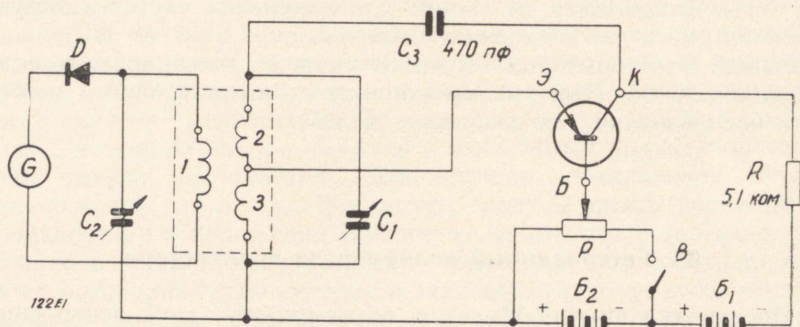


Рис. 122.

Колебательный контур с переменным конденсатором C_1 и обмоткой 2-3 катушки определяет частоту колебаний. Обратная связь от коллектора к колебательному контуру идет через конденсатор C_3 . Рабочая точка устанавливается потенциометром P . Резистор R служит нагрузкой цепи коллектора. Возбуждаемое напряжение высокой частоты передается индуктивной связью обмотке 1. Эта обмотка образует с конденсатором C_2 второй колебательный контур. Напряжение этого контура выпрямляется диодом D и получаемый выпрямленный ток обнаруживается гальванометром G .

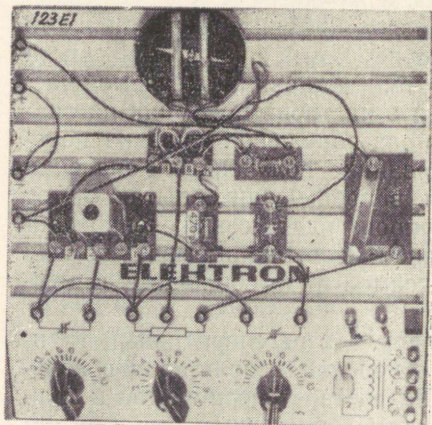


Рис. 123.

Установив с помощью C_2 какую-нибудь частоту и вращая ручку конденсатора C_1 , наблюдаем отклонение стрелки гальванометра. Отклонение будет тем больше, чем ближе резонансная

частота контура с конденсатором C_2 к частоте, возбуждаемой транзистором в контуре с конденсатором C_1 . На этом явлении, т. е. на зависимости показания гальванометра от настройки второго контура, основываем методику измерения индуктивности. Если параллельно обмотке I подключить катушку, индуктивность которой хотят определить, то показание гальванометра изменится, так как при этом изменилась резонансная частота контура. С помощью известных индуктивностей (эталонов) можем произвести калибровку, построив калибровочную кривую, изображающую зависимость показания гальванометра от величины индуктивности (и наоборот). Этот способ измерения будет особенно точным в том случае, если второй колебательный контур (с конденсатором C_2) настроить на частоту самовозбуждения генераторов. В нашей схеме это невозможно из-за слишком сильной связи между обмотками I и $2-3$. Поэтому наш опыт показывает только принципиальную работу такого измерителя индуктивности и не претендует на точность измерения. В имеющихся в продаже измерителях индуктивности, работающих по этому принципу, второй контур выполнен особенно тщательно и связан с контуром генератора очень слабо, чтобы не влиять на частоту резонанса. Напряжение снимается тогда с вывода катушки и измеряется ламповым вольтметром, практически не потребляющим энергии. Все эти условия в нашем случае отсутствуют и поэтому наш опыт является лишь грубым приближением.

Перед пользованием схемой необходимо точно отрегулировать рабочую точку. В начале подвижной контакт потенциометра P должен стоять в крайнем левом положении (рис. 122), что соответствует крайнему правому положению клювика (рис. 123). Гальванометр включают сперва в цепь коллектора и регулируют с помощью потенциометра ток цепи так, чтобы стрелка гальванометра отклонилась на $1 \dots 2$ деления шкалы. Лишь после этого гальванометр включают в цепь диода, причем здесь гальванометр будет давать тоже лишь небольшое отклонение стрелки. Изменения отклонения при подключении индуктивности требуют очень внимательного наблюдения гальванометра.

Будьте осторожны при регулировке потенциометра P . Не вращайте его слишком далеко!

Результат наблюдения. Из самовозбуждающего передатчика и связанного с ним настраиваемого измерительного колебательного контура можно создать измеритель индуктивности, не требующий отдельного сигнал-генератора.

Вывод. Как видно, с помощью простых транзисторных схем можно построить разные высокочастотные измерительные приборы. В данном опыте использовался самовозбуждающий передатчик и отдельно настраиваемый колебательный контур. Опыт показывает, что специально не приспособленные колебательные контуры не дают годных для практического применения результатов.

Однако основной принцип прибора в этом опыте ясно демонстрируется.

100. Транзисторный измеритель емкости без сигнал-генератора

Постановка опыта. Схему предыдущего опыта может использовать также для измерителя емкости. В самой схеме, а также в методике измерения ничего не меняется. Лишь вместо катушки параллельно обмотке I включается измеряемый конденсатор. При этом также получается изменение показания гальванометра. Калибровка производится таким же образом, как в предыдущем опыте, на этот раз в качестве эталонов применяются конденсаторы известной емкости. В остальном для этого опыта действительно все то, что было сказано в описании предыдущего.

Результат наблюдения. Изображенная на рис. 122 и 123 схема применима также для измерения емкостей по принципу изменения резонансной частоты контура при подключении измеряемого конденсатора. Схема обладает теми же характерными свойствами, что и в применении для измерения индуктивностей.

Вывод. Устройство по рис. 122 и 123 можно также назвать универсальным, так как оно может служить для измерения разных электрических величин. Однако в нашем примитивном исполнении оно не имеет практического значения. Многие промышленные измерительные приборы используют описанный в этом опыте основной принцип.

101. Транзисторный сигнал-генератор

Постановка опыта. Схемы регенеративных приемников в опытах 73 и 74 могут быть использованы как сигнал-генераторы. Обратную связь надо только отрегулировать так, чтобы получить непрерывное самовозбуждение. Тогда получим напряжение частотой радиовещательного диапазона. Величина частоты устанавливается с помощью переменного конденсатора колебательного контура. Напряжение снимается с зажимов A и $З$. Регулировка величины напряжения в узких пределах возможна потенциометром. P . Калибровка такого сигнал-генератора производится с помощью радиовещательного приемника. Зажимы A и $З$ нашего прибора соединим с зажимами антенны и заземления приемника, настроим приемник на станцию с известной частотой и будем вращать переменный конденсатор C_1 своего сигнал-генератора до появления свиста в громкоговорителе приемника. В положении переменного конденсатора C_1 , в котором свист, превращаясь в низкий тон, исчезает, частота нашего прибора равна частоте радиостанции. Повторяя эту процедуру с несколькими радиостан-

циями, получим достаточное количество точек для построения калибровочной кривой, показывающей частоту сигнал-генератора в зависимости от положения (градусов шкалы) переменного конденсатора C_1 .

Результат наблюдения. Регенеративный приемник может быть использован в качестве сигнал-генератора, когда обратная связь доведена до самовозбуждения. Он генерирует тогда напряжения с частотами, которые определяются резонансной частотой колебательного контура.

Вывод. Выпускаемые промышленностью сигнал-генераторы работают по описанному здесь принципу. Показанные в наших опытах простые схемы, конечно, не могут удовлетворять повышенным требованиям по постоянству частоты и точной дозировке отдаваемых напряжений. Точные сигнал-генераторы имеют несколько каскадов, причем задающий частоту самовозбуждающийся контур отдает свое напряжение другому контуру, защищающему задающий контур от обратного влияния потребителя. Кроме того, промышленные сигнал-генераторы имеют хорошую экранировку и снабжены специальными делителями напряжения (аттенюаторами) для точной регулировки выходного напряжения. Основной принцип действия все же соответствует описанному в этом опыте.

Мы пришли к концу наших опытов с комплектом наглядных пособий «ЭЛЕКТРОН-I». Кто проделает их внимательно и вникнет в сущность явлений и проблем, узнает достаточно много о работе германиевых диодов и транзисторов. Наши опыты, конечно, не претендуют на большую точность. Цель будет достигнута, если экспериментатор усвоил принцип работы представленных схем. Какую-нибудь из этих схем (после проведения всех опытов) можно построить для длительного практического пользования. Если затем появится необходимость заменить схему другой — это делается просто и без больших затрат труда и времени.

Для дополнительных опытов необходимо приобрести комплекты ЭЛЕКТРОН-II и ЭЛЕКТРОН-III, с помощью которых можно расширить свои знания.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

Физические величины		Единицы измерения			
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение		Определение
			русское	международное	
1	2	3	4	5	6
Длина	<i>l</i>	Метр	<i>м</i>	m	
Масса		Килограмм	<i>кг</i>	kg	
Время	<i>t</i>	Секунда	<i>сек</i>	s	
Сила тока	<i>I</i>	Ампер	<i>a</i>	A	
		Миллиампер	<i>ма</i>	mA	0,001 <i>a</i>
		Микроампер	<i>мка</i>	μA	0,000 001 <i>a</i>
Мощность	<i>P</i>	Ватт	<i>вт</i>	W	
		Милливатт	<i>мвт</i>	mW	0,001 <i>вт</i>
Полная мощность		Вольт-ампер	<i>ва</i>	VA	

1	2	3	4	5	6
Частота	f	Герц	$гц$	Hz	
		Килогерц	$кгц$	kHz	1000 $гц$
		Мегагерц	$Мгц$	MHz	1 000 000 $гц$
Электрическое сопротивление	R	Ом	$ом$	Ω	
		Килоом	$ком$	k Ω	1000 $ом$
		Мегом	$Мом$	M Ω	1 000 000 $ом$
Электрическая емкость	C	Фарада	$ф$	F	
		Микрофарада	$мкф$	μ F	0,000 001 $ф$
		Пикофарада	$пф$	pF	0,000 000 000 001 $ф$
Индуктивность	L	Генри	$гн$	H	
		Миллигенри	$мгн$	mH	0,001 $гн$
		Микрогенри	$мкгн$	μ H	0,000 001 $гн$
Разность электрического потенциала, электрическое направление	U	Вольт	$в$	V	
		Киловольт	$кв$	kV	1 000 $в$
		Микровольт	$мкв$	μ V	0,000 001 $в$

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
А. Общие правила применения ящика экспериментирования	5
1. Состав ящика экспериментирования	5
2. Крепление деталей	7
3. Монтажные провода	7
4. Детали, вмонтированные в шасси	7
5. Уход за батареями	8
6. Работа с питанием от сети	9
7. Гальванометр	9
8. Порядок проведения опытов	10
Б. Что такое полупроводниковые диоды и транзисторы	11
9. Полупроводниковый диод	11
10. Транзисторы (полупроводниковые триоды)	13
В. Опыты с германиевым диодом	18
11. Ток диода в пропускном направлении	18
12. Ток германиевого диода в запиорном направлении	19
13. Обнаружение тока Ценера	20
14. Температурная зависимость германиевых диодов	20
15. Прямой ток в диодном промежутке транзистора	21
16. Ток диодного промежутка транзистора в запиорном направлении	22
17. Ток Ценера в диодном промежутке транзистора	22
18. Температурная зависимость диодного промежутка в запиорном направлении	23
19. Свойства промежутка эмиттер-коллектор в транзисторе, рассматриваемом как система, состоящая из двух диодов	23
20. Снятие вольт-амперной характеристики диода в пропускном направлении	24
Г. Примеры применения германиевых диодов	26
21. Выпрямитель на германиевом диоде	26
22. Использование диодного промежутка транзистора в качестве выпрямляющего элемента	27

23. Влияние зарядного конденсатора в схеме диодного выпрямителя	28
24. Сглаживание пульсации выпрямленного напряжения	28
25. Маленький зарядный выпрямитель	29
26. Простой измерительный выпрямитель	30
27. Пробник с германиевым диодом	31
28. Германиевый диод в качестве измерителя мощности	33
29. Маленький абсорбционный волномер	34
30. Германиевый диод в качестве демодулятора	36
31. Простой одноконтурный диодный приемник	36
32. Двухконтурный приемник местной станции (с германиевым диодом)	37
33. Указатель полярности	38
34. Гальваническая установка	40
35. Установка для получения водорода и кислорода	41
36. Германиевый диод в качестве электронного выключателя или ограничителя	42
37. Экономическое сигнализационное устройство	44
38. Реле времени с германиевым диодом	46
39. Подавление помех от контактов с помощью германиевого диода	47
40. Германиевый диод как элемент затухания	48
41. Светочувствительность германиевого диода	49
42. Германиевый диод в качестве дистанционного термометра	50

Д. Основные опыты с полупроводниковым триодом 51

43. Снятие выходной характеристики транзистора в схеме с общей базой	51
44. Снятие выходной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером	53
45. Снятие выходной характеристики транзистора в схеме с общим коллектором	55
46. Температурная зависимость остаточного тока транзистора в схеме с общей базой	57
47. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному току в схеме с общей базой	58
48. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному напряжению в схеме с общей базой	58
49. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному току в схеме с общим эмиттером	60
50. Опыт, демонстрирующий усиление по постоянному напряжению в схеме с общим эмиттером	60
51. Усиление по постоянному току в схеме с общим коллектором	61
52. Усиление по постоянному напряжению в схеме с общим коллектором	61

Е. Полупроводниковый триод в усилительных схемах . . .	63
53. Трансформаторный усилитель с транзистором в схеме с общей базой	63
54. Трансформаторный усилитель с транзистором в схеме с общим коллектором	65
55. Трансформаторный усилитель с транзистором в схеме с общим коллектором	67
56. Усилитель на резисторах и транзисторе в схеме с общей базой	68
57. Усилитель на резисторах и транзисторе в схеме с общим эмиттером	69
58. Усилитель на резисторах по схеме с общим коллектором	71
59. Температурная компенсация в транзисторных усилителях	72
Ж. Схемы транзисторных приемников	74
60. Диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общим эмиттером	74
61. Двухконтурный диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общим эмиттером	76
62. Диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общей базой	77
63. Диодный приемник с трансформаторным усилителем низкой частоты на транзисторе в схеме с общим коллектором	78
64. Диодный приемник с усилителем низкой частоты на резисторах и транзисторе в схеме с общей базой	79
65. Диодный приемник с усилителем низкой частоты на резисторах и транзисторе в схеме с общим коллектором	80
66. Диодный приемник с усилителем низкой частоты на резисторах и транзисторе в схеме с общим эмиттером	80
67. Регенеративный приемник на транзисторе в схеме с общей базой	81
68. Другой вариант обратной связи к схеме предыдущего опыта	85
69. Регенеративный приемник на транзисторе в схеме с общей базой и с емкостным подключением эмиттера	85
70. Регенеративный приемник на транзисторе в схеме с общим эмиттером и с емкостным подключением базы	87
71. Опыты с обратной связью в схеме предыдущего опыта	89
72. Регенеративный транзисторный приемник по схеме с общим эмиттером при прямом включении базы	90

73.	Регенеративный диодно-транзисторный приемник с резистивно-емкостной связью	91
74.	Регенеративный диодно-транзисторный приемник с трансформаторной связью	93
75.	Регенеративный приемник с питанием от местного передатчика	95
76.	Громкоговорительный прием с транзисторным приемником	96
3.	Схемы транзисторных передатчиков	98
77.	Немодулированный телеграфный передатчик	99
78.	Передатчик с базовой модуляцией	101
79.	Передатчик с коллекторной модуляцией	102
80.	Передатчик с собственной модуляцией	104
81.	Генератор звуковых частот на транзисторе	105
И.	Транзистор в качестве электронного коммутатора и датчика импульсов	107
82.	Опыт, демонстрирующий коммутационные свойства транзистора	108
83.	Блокинг-генератор на транзисторе	109
84.	Аппарат для электризации на транзисторе	111
85.	Транзисторный преобразователь постоянного напряжения	113
86.	Сигнальный предупредительный прибор, реагирующий на акустические сигналы	114
87.	Сигнальный предупредительный прибор с временной задержкой	116
88.	Однотактный (моностабильный) мультивибратор	117
89.	Двухтактный мультивибратор	119
90.	Самовозбуждающийся мультивибратор	119
К.	Транзистор в измерительной технике	121
91.	Чувствительный миллиамперметр на транзисторе	121
92.	Чувствительный вольтметр на транзисторе	122
93.	Чувствительный омметр на транзисторе	123
94.	Транзисторный волномер	124
95.	Транзисторный частотомер модулированных напряжений	126
96.	Транзисторный измеритель индуктивности	128
97.	Транзисторный измеритель емкости	128
98.	Гетеродинный волномер на транзисторе	129
99.	Измеритель индуктивности без сигнал-генератора	130
100.	Транзисторный измеритель емкости без сигнал-генератора	132
101.	Транзисторный сигнал-генератор	132
	Приложение	134
	Буквенные обозначения единиц измерения	138

Подписано 15. X 1966. Тираж 1800. Бумага 60×80¹/₁₆, 9,0 печ.
листов. Усл. печ. листов 8,37. Заказ № 6704. Тип. «Коммунист»,
г. Таллин, ул. Пикк, 2.

Бесплатно.

TÜ RAAMATUKOGU



10300013599495

XI

1A-12936

III