



Министерство образования и науки Хабаровского края

Краевое государственное автономное образовательное учреждение  
дополнительного образования «Центр развития творчества детей  
(Региональный модельный центр дополнительного образования детей  
Хабаровского края)»

Центр технического творчества

## **ВВЕДЕНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКУ**

Учебное пособие для участников  
краевого мероприятия «TechnoSkills»  
Направление: техническое  
**ЛАБОРАТОРИЯ «РЭК-LABS»**

Печатается по решению  
научно-методического совета  
КГАОУ ДО РМЦ,  
протокол № 1 от 26.03.2019 г.

**Введение в радиоэлектронику.** Учебное пособие для участников  
краевого слёта «TechnoSkills»

**Направление:** техническое (Лаборатория «РЭК-labs»)

/С.В.Летучий./ Сост. И.В.Воеводина. – Хабаровск, КГАОУ ДО РМЦ,  
Выпуск 2019 – 40 с.

Ответственный редактор: С.В. Еращенко

Ответственный за выпуск: М.Н. Никитенко

Компьютерная верстка: В.Д. Шабалдина

В учебном пособии для участников краевого слёта «TechnoSkills» публикуется теоретический материал по основам радиоэлектроники. Пособие будет интересно педагогам, реализующим дополнительные общеобразовательные программы естественнонаучной и технической направленностей, учащимся, учителям физики, информатики, технологии.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 4  |
| Занятие 1. Что такое радиоэлектроника                        | 4  |
| Занятие 2. Строение вещества. Элементарные частицы           | 6  |
| Занятие 3. Электричество и магнетизм. Электромагнитные волны | 11 |
| Занятие 4. Работа с резисторами                              | 18 |
| Занятие 5. Пассивные радиоэлементы                           | 23 |
| Занятие 6. Конструкция и типы конденсаторов                  | 26 |
| Занятие 7. Электропроводность                                | 34 |
| Библиографический справочник                                 | 40 |

## ВВЕДЕНИЕ

Цель данного методического пособия: дать представление о радиоэлектронике как науки и одной из ведущих отраслей промышленности, которая заполняет свою нишу практически во всех областях современного образования, техники и прогрессивных технологий. В этом же руководстве вы получите представление о строении вещества и электрически заряженных частицах. Так же, мы коснёмся строения атома, понятия электричества и электризации тел.

### Занятие 1. ЧТО ТАКОЕ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Как говорит нам Большой энциклопедический словарь, **ЭЛЕКТРОНИКА** — наука о взаимодействии заряженных частиц (электронов, ионов) с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств (вакуумных, газоразрядных, полупроводниковых), используемых в основном для передачи, обработки и хранения информации.

Электроника как наука возникла в начале XX века. Первоначально развивалась, главным образом, вакуумная электроника; на её основе были созданы электровакуумные приборы. С начала 50-х гг. интенсивно развивается твердотельная электроника (прежде всего, полупроводниковая промышленность). С начала 60-х гг. одно из наиболее перспективных её направлений — микроэлектроника. После создания квантового генератора когерентного излучения — лазера, началось развитие квантовой электроники. Электронные приборы и устройства используются в системах связи, автоматики, в вычислительной технике, измерительной технике и т. д.

### РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Это собирательное название ряда областей науки и техники, связанных с передачей и преобразованием информации на основе использования радиочастотных электромагнитных колебаний и волн. Основные из них — схемотехника, радиотехника и электроника. Методы и средства радиоэлектроники применяются в большинстве областей современной техники и науки. Иными словами, существовали две смежные науки радиотехника и электроника, в

результате слияния возникла радиоэлектроника. Ещё нужно определиться с таким понятием как радиолюбительство (радиолюбитель), начинающий радиолюбитель.

### **Кто такой радиолюбитель**

И так, всё население земного шара можно условно разделить на две группы: имеющих хобби и не имеющих хобби. Это слово, пришедшее сравнительно давно в русский язык (от английского hobby), переводится как «излюбленное занятие, увлечение». Хобби бывают самыми разнообразными. И все-таки есть такое увлечение, которое позволяет сочетать воедино различные направления хобби, уделяя либо всем им одинаковое внимание, либо занимаясь преимущественно каким-то одним видом. Это увлечение не только способ интересного проведения досуга. Оно позволяет приобрести ценные практические навыки и знания в области электро- и радиотехники, имя этого увлечения — радиолюбительство. Радиолюбительством занимаются сотни тысяч людей в мире. Радиолюбительство многообразно, и каждый находит в нём что-то наиболее для себя привлекательное. Вы любите мастерить, конструировать? Радиолюбители, как правило, сами конструируют свои электронные устройства, создавая подчас конструкции, не уступающие лучшим промышленным образцам.

Что такое радиотехника, радиоэлектроника и радиолюбительство мы разобрались, приступим к детальному изучению предмета. Что нужно для хорошего усвоения? Большая часть материала, сопровождается комментариями. Комментарии преследуют двоякую цель: в некоторых случаях углубить изложения и дополнить материал по ряду вопросов. Рекомендуются очень внимательно изучить все приведённые схемы. Детальное изучение всех цепей является наилучшим упражнением. При известном желании и настойчивости вы убедитесь, что в радиоэлектронике не всё так сложно, как может показаться на первый взгляд!

## Занятие 2. Строение вещества. Элементарные частицы

В основе радиоэлектроники лежит явление, которое называется электрическим током. Электрический ток — упорядоченное движение заряженных частиц. Рассмотрим вопрос о том, что известно на сегодняшний день о заряженных частицах.

Атом в переводе с греческого «неделимый», но сегодня мы знаем, что атом состоит из ещё более мелких частиц. Известно, что атом состоит из электронов и ядра, состоящего из протонов и нейтронов. Электроны — это элементарные отрицательные заряды электричества, протоны — элементарные положительные заряды, а нейтроны — частицы, не имеющие заряда вообще. Все они не собраны в одну кучу, они находятся в движении, между ними существуют силы взаимодействия. Между одноимёнными зарядами действуют силы отталкивания, а между разноимёнными частицами — силы притяжения. Схема строения атома (крестиками обозначены протоны, кружочками — электроны) —

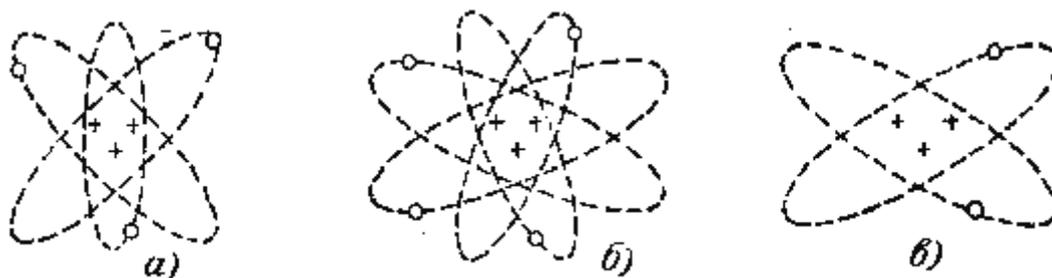


Рис 1. а – нейтральный атом; б – отрицательный; в – положительный

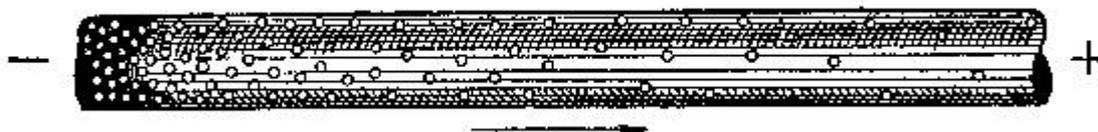
Так как электроны движутся (как планеты вокруг Солнца) вокруг ядра (рис.1), то в атоме силы отталкивания и притяжения уравниваются. Можно сказать, что это настоящая солнечная система в миниатюре! Заметьте теперь, что если в атоме имеется столько же электронов, сколько и протонов, то он нейтрален. Если электронов больше, то отрицательный заряд превосходит положительный заряд и атом становится отрицательным. Наконец, если отрицательно заряженных частиц меньше, чем положительных, то атом будет положительным.

### РАВНОВЕСИЕ ЗАРЯДОВ — ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Каким образом атом может оказаться положительным или отрицательным? Электроны, которые находятся далеко от ядра, испытывают слабое притяжение и,

попадая в сферу притяжения другого атома, у которого не хватает электронов, покидают его, чтобы дополнить или уравновесить, соседний атом. Запомните, что электроны перемещаются от атома, где они более многочисленны, туда, где их меньше.

Электрический ток — это упорядоченное движение заряженных частиц (свободных носителей заряда) в результате действия разности потенциалов (электрического поля).



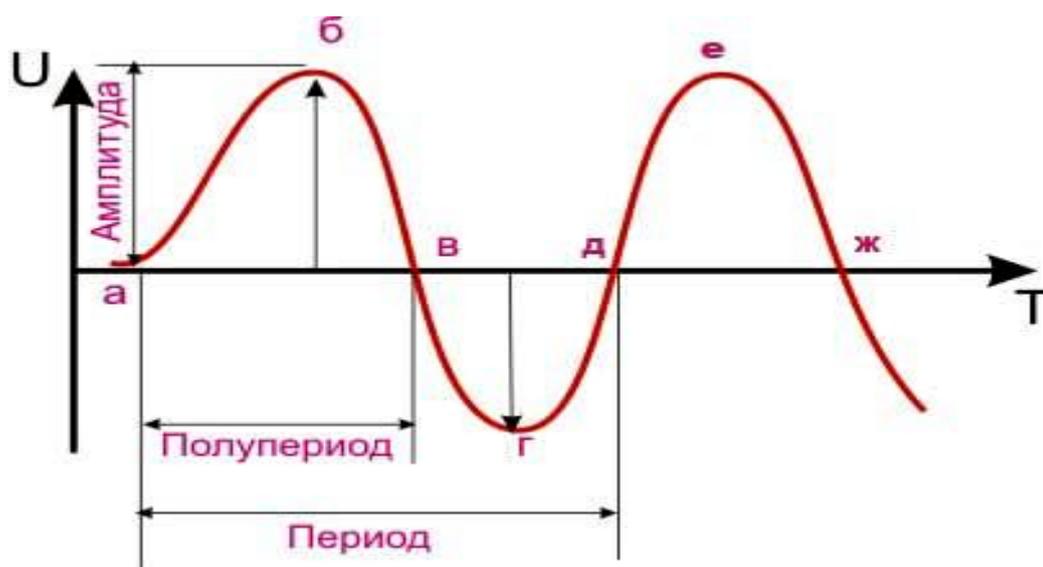
*Рис. 2. Электрический ток*

Если каким-либо путём на одном конце металлической проволоки удастся сосредоточить отрицательно заряженные атомы, а на другом — положительно заряженные (имеющие недостаток отрицательно заряженных частиц), то электроны начнут перемещаться от одного атома к другому через все промежуточные элементы до момента установления равновесия (рис. 2). Очевидно, что электроны пойдут от отрицательного конца к положительному. Такое упорядоченное движение и называют электрическим током. В то время, когда надо было установить направление тока, произвольно выбрали направление от положительного полюса к отрицательному. **Запомните, что ток движется от отрицательного полюса к положительному.**

### **ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК**

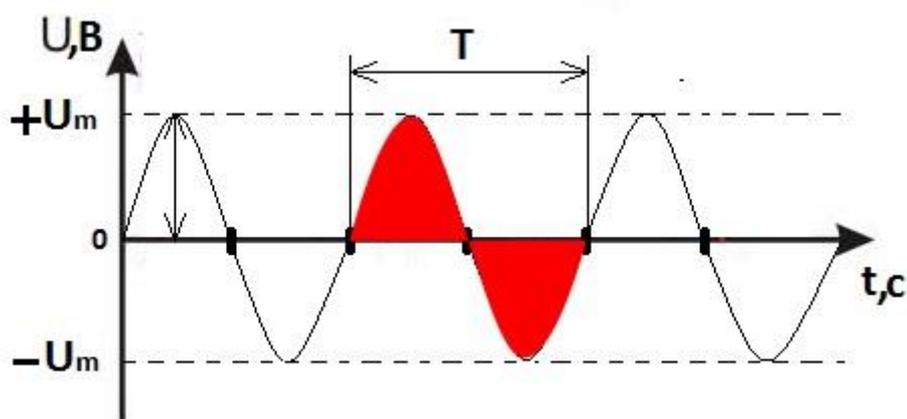
Если полюсы источника тока менять местами очень быстро и к тому же ритмично, то в этом случае электроны во внешнем участке цепи тоже будут попеременно изменять направление своего движения. Сначала они потекут в одном направлении, затем, когда полюсы поменяют местами, в другом, обратном предыдущему, потом вновь в прямом, опять в обратном и т. д. Во внешней цепи будет течь уже не постоянный, а переменный ток. **Запомните: в проводах электроосветительной сети течёт переменный ток, а не постоянный, как в цепи**

электрического карманного фонаря. Его вырабатывают машины, называемые генераторами переменного тока. Знаки электрических зарядов на полюсах генератора непрерывно меняются, но не скачком, как в нашем примере, а плавно. Заряд того полюса генератора, который в некоторый момент времени был положительным, начинает убывать и через долю секунды становится отрицательным; отрицательный заряд сначала возрастает, потом начинает убывать, пока снова не окажется положительным и т. д. Одновременно меняется знак заряда и другого полюса. При этом напряжение и значение тока в электрической цепи также периодически изменяются. Графически переменный ток изображают волнистой линией — синусоидой, показанной на рисунке. Здесь вертикальная ось со стрелкой, направленной вверх, соответствует одному направлению тока, а вниз — другому направлению тока, обратному первому.



О чём может рассказать такой график? Ток в цепи появляется в момент времени, обозначенный на графике точкой А. Он плавно увеличивается и течёт в одном направлении, достигая наибольшего значения (точка Б), и также плавно убывает до нуля (точка В). Исчезнув на мгновение, ток вновь появляется, плавно возрастает и протекает в цепи, но уже в противоположном направлении. Достигнув наибольшего значения (точка Г), он снова уменьшается до нуля (точка Д). И далее ток, также последовательно возрастая и уменьшаясь, всё время меняет свои направление и значение.

При переменном токе электроны в проводнике колеблются из стороны в сторону. Поэтому переменный ток называют также электрическими колебаниями. Одним полным, или законченным, колебанием тока принято считать упорядоченное движение электронов в проводнике, соответствующее участку графика от А до Д или от В до Ж. Время, в течение которого происходит одно полное колебание, называют периодом. Время половины колебания — полупериодом, а наибольшее значение тока во время каждого полупериода — амплитудой. Чтобы до конца разобраться с понятием переменный ток, посмотрите на рисунки ниже:



Для наглядности красным цветом окрашен период. Так как максимальное значение напряжения за половину периода это амплитуда, значит, оно должно как-то обозначаться и обозначается амплитуда  $U_m$ . Соответственно положительный полупериод  $+U_m$ , а отрицательный полупериод  $-U_m$ . Переменный ток выгодно отличается от постоянного тем, что он легко поддаётся преобразованию. Так, например, при помощи специального устройства — трансформатора — можно повысить напряжение переменного тока или, наоборот, понизить его. Переменный ток, кроме того, можно выпрямить — преобразовать в постоянный ток. Эти свойства переменного тока вы будете широко использовать в своей радилюбительской практике. Вы пользуетесь благами электричества, иногда даже расточительно, не задумываясь над тем, что учёные каких-нибудь лет 100 назад только-только нащупали пути практического использования этого щедрого дара природы.

## ПРОВОДНИКИ, ИЗОЛЯТОРЫ, ДИЭЛЕКТРИКИ

Электрический ток проходит через металлы. Ток также проходит через растворы кислот или щелочей и через уголь. Все эти вещества называются проводниками. Их атомы содержат много электронов, которые слабо связаны с ядром. Однако существуют другие тела, в которых электроны настолько сильно связаны с ядром, что они не могут покинуть атом. В этих веществах, называемых изоляторами или диэлектриками, не может образоваться электрический ток. Лучшими изоляторами, применяемыми в радио, являются кварц, эбонит, янтарь, бакелит, стекло, различные керамики, парафин. Между изоляторами и проводниками находятся полупроводники, например, германий или кремний, из которых изготавливают транзисторы.



Почему серебро лучший проводник, чем медь? Потому что в одинаковых условиях через серебряный провод будет проходить ток большей силы, чем через провод такого же размера, но из меди. Самым лучшим диэлектриком является воздух. А самым лучшим проводником — серебро. Красная медь тоже хорошо проводит ток и, так как она стоит дешевле серебра, то используется чаще.

### Сила тока

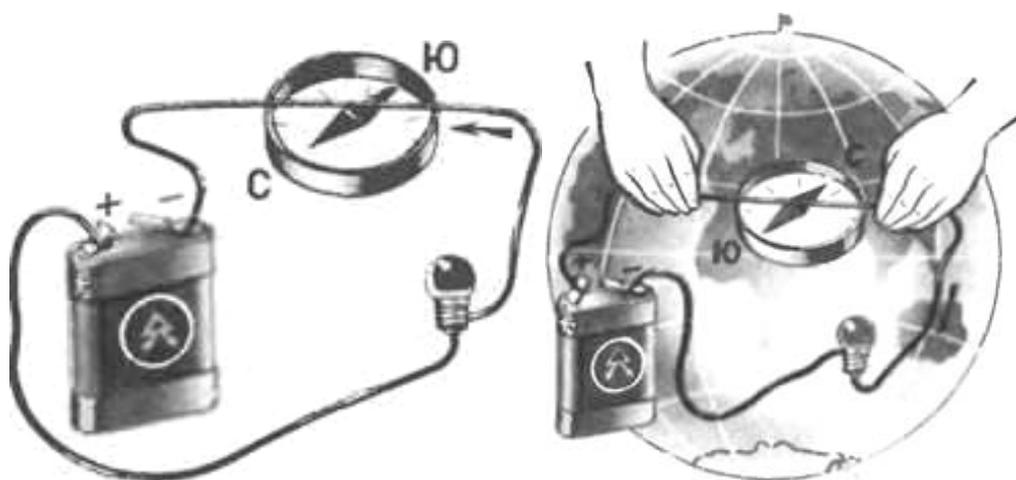
Сила тока количественная величина и равна заряду (в кулонах), проходящему через поперечное сечение проводника в одну секунду. Но практически измеряют силу тока в амперах (А). Один ампер соответствует прохождению 6 000 000 000 000 000 000 электронов в секунду, и это ещё округлённые цифры. Пользуются очень часто также более мелкими единицами: миллиампером (мА) - равным 1/1000 А, и

микроампером (мкА), равным  $1/1\ 000\ 000$  А. Сила тока зависит от напряжения приложенного к проводнику и от сопротивления последнего.

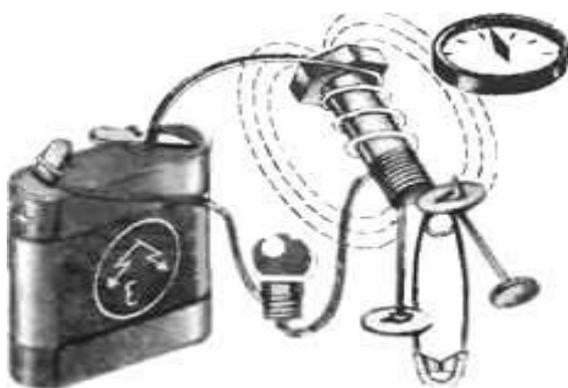
### **Занятие 3. Электричество и магнетизм. Электромагнитные волны**

#### **ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**

Цель данного занятия: освоить теоретические сведения касающиеся, электричества, магнетизма и проследить связь между этими двумя понятиями. Потому что именно благодаря магнитным (электромагнитным) явлениям, мы можем получить электричество, без которого сейчас не мыслима жизнедеятельность человека. Непосредственную связь между электричеством и магнетизмом открыл в 1819 г. датский профессор физики Ганс Эрстед. Проводя опыты, учёный обнаружил, что всякий раз, когда он включал ток, магнитная стрелка, находящаяся поблизости от проводника с током, стремилась повернуться перпендикулярно проводнику, а когда выключал, магнитная стрелка возвращалась в исходное положение. Учёный сделал вывод: вокруг проводника с током возникает магнитное поле, которое воздействует на магнитную стрелку. Вы можете в этом убедиться, если сами проведёте аналогичный опыт. Для этого потребуются: батарея гальванических элементов, например 3336Л, миниатюрная лампа накаливания, предназначенная для карманного электрического фонаря, медный провод толщиной 0,2–0,3 мм в эмалевой, хлопчатобумажной или шёлковой изоляции и компас. С помощью отрезков провода, удалив с их концов изоляцию, подключите к батарее лампу накаливания. Лампа горит, потому что образовалась электрическая цепь. Батарея в данном случае является источником питания этой цепи. Поднесите один из соединительных проводников поближе к компасу (смотрите рисунок), и вы увидите, как его магнитная стрелка сразу же станет поперёк проводника. Она укажет направление круговых магнитных силовых линий, рождённых током.



Наиболее сильное магнитное поле тока будет возле самого проводника. По мере удаления от проводника магнитное поле, рассеиваясь, ослабевает. А если изменить направление тока в проводнике, поменяв местами подключение его к полюсам батареи? Изменится и направление магнитных силовых линий — магнитная стрелка повернётся в другую сторону. Значит, направление силовых линий магнитного поля, возбуждаемого током, зависит от направления тока в проводнике. Какова в этих опытах роль лампы накаливания? Она служит как бы индикатором наличия тока в цепи. Она, кроме того, ограничивает ток в цепи. Если к батарее подключить только проводник, магнитное поле тока станет сильнее, но батарея быстро разрядится. Если в проводнике течёт постоянный ток неизменного значения, его магнитное поле также не будет изменяться. Но если ток уменьшится, то слабее станет и его магнитное поле. Увеличится ток, усилится его магнитное поле, исчезнет ток — магнитное поле пропадёт. Словом, ток и его магнитное поле неразрывно связаны и взаимно зависимы. Магнитное поле тока легко усилить, если проводник с током свернуть в катушку. Силовые линии магнитного поля такой катушки можно сгустить, если внутрь её поместить гвоздь или железный стержень. Такая катушка с сердечником станет электромагнитом, способным притягивать сравнительно тяжёлые железные предметы. Это свойство тока используется во множестве электрических приборов.



А если магнитную стрелку поднести к проводу с переменным током? Она станет неподвижной, даже если провод свернуть в катушку. Значит ли это, что вокруг проводника с переменным током нет магнитного поля? Магнитное поле есть, но оно тоже переменное. Магнитная же стрелка не будет отклоняться только вследствие своей «неповоротливости» — инерционности, она не будет успевать следовать за быстрыми изменениями магнитного поля. Первый электромагнит, основные черты которого сохранились во многих современных электрических приборах, например, в электромагнитных реле, излучателях головных телефонов, изобрёл английский учёный Уильям Стёрджен в 1821 г. А спустя два десятилетия после этого события французский физик Андре Ампер сделал новое, исключительно важное по тому времени, открытие. Он опытным путём установил, что два параллельно расположенных проводника, по которым течёт ток, способны совершать механическую работу: если ток в обоих проводниках течёт в одном направлении, то они притягиваются, а если в противоположных, отталкиваются. Догадываетесь, почему так происходит? В первом случае, когда направление тока в обоих проводниках одинаково, их магнитные поля, также имеющие одинаковое направление, как бы стягиваются в единое поле, увлекая за собой проводники. Во втором случае магнитные поля вокруг проводников, имеющие теперь противоположные направления, отталкиваются и тем самым раздвигают проводники.

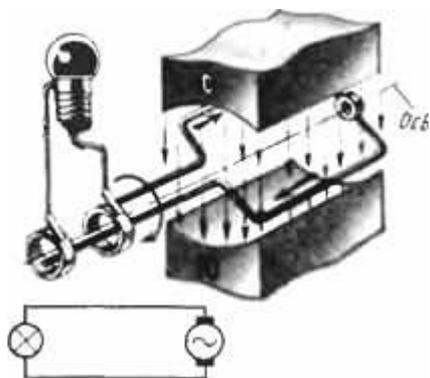
Ценнейший вклад в науку внёс английский физик — самоучка Майкл Фарадей. Изучая связь между электрическим током и магнетизмом, он открыл явление электромагнитной индукции. Суть его заключается в следующем. Если внутрь катушки из изолированной проволоки быстро ввести магнит, стрелка

электроизмерительного прибора, подключённого к концам катушки, на мгновение отклонится от нулевой отметки на шкале прибора.



При таком же быстром движении магнита внутри катушки, но уже в обратном направлении, стрелка прибора также быстро отклонится в противоположную сторону и вернётся в исходное положение. Вывод мог быть один: магнитное поле пересекает провод и возбуждает (индуцирует) в нём движение свободных электронов — электрический ток. Впрочем, можно поступить иначе: перемещать не магнит, а катушку вдоль неподвижного магнита. Результат будет такой же. Магнит можно заменить катушкой, в которой течёт постоянный ток. Магнитное поле этой катушки, вызванное током, при пересечении витков второй катушки также будет возбуждать в ней электродвижущую силу, создавая в её цепи электрический ток.

Явление электромагнитной индукции лежит в основе действия генератора переменного тока, представляющего собой катушку из провода, вращающуюся между полюсами сильного магнита или электромагнита (на рисунке катушка показана в виде одного витка провода).

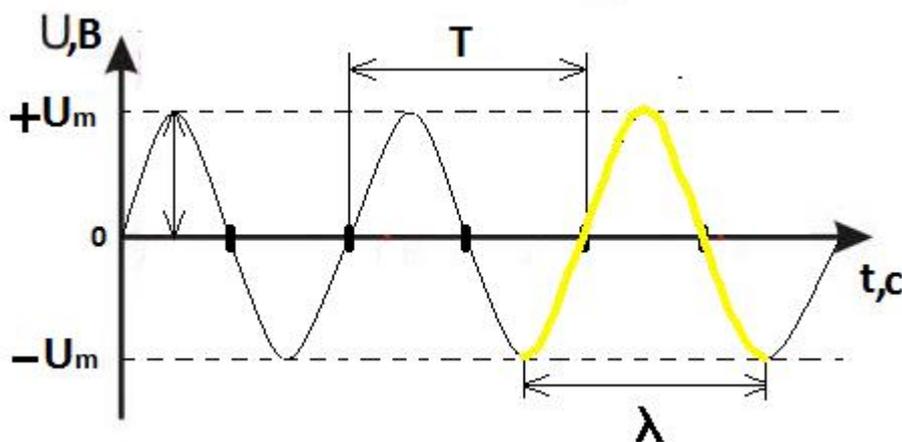


Вращаясь, катушка пересекает силовые линии магнитного поля, и в ней индуцируется (вырабатывается) электрический ток. В 1837 г. русский академик Б.С. Якоби открыл явление, обратное по действию генератора тока. Через катушку, помещённую в магнитном поле, ученый пропускал ток, и катушка начинала вращаться. Это был первый в мире электромагнитный

двигатель. Фарадей, открывший закон электромагнитной индукции, опытным путём обнаружил ещё очень важное явление — возможность передавать переменный ток из катушки в катушку на расстояние без какой-либо прямой электрической связи между ними. Суть этого явления заключается в том, что переменный или прерывающийся (пульсирующий) ток, текущий в одной из катушек, преобразуется в переменное магнитное поле, которое пересекает витки второй катушки и тем самым возбуждает в ней переменную ЭДС. На этой основе создан замечательный прибор, который называется трансформатор, играющий очень важную роль в электротехнике и радиотехнике.

### **ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

Опыты Майкла Фарадея и его соотечественника и последователя Кларка Максвелла привели учёных к выводу, что переменное магнитное поле, рождаемое непрерывно изменяющимся током, создаёт в окружающем пространстве электрическое поле, которое в свою очередь возбуждает магнитное поле, магнитное поле — электрическое и т.д. Взаимосвязанные, создаваемые друг другом магнитное и электрическое поля образуют единое переменное электромагнитное поле, которое непрерывно, как бы отделяясь и удаляясь от места возбуждения его, распространяется во всём окружающем пространстве со скоростью света, равной 300 000 км/с. Явление возбуждения переменным током электромагнитных полей принято называть излучением электромагнитных колебаний или излучением электромагнитных волн. Встречая на своём пути проводники, магнитные составляющие электромагнитных колебаний возбуждают в этих проводниках переменное электрическое поле, создающее в них такой же переменный ток, как ток, возбуждавший электромагнитные волны, только несравненно слабее. На этом замечательном явлении и основана техника радиопередачи и радиоприёма. Длина волны есть расстояние, проходимое волной за один период, т. е. за время одного колебания. Зная скорость распространения радиоволн и частоту, можно определить длину волны.



Пусть, например, частота тока в антенне радиопередатчика составляет 1 000 000 гц. Тогда период колебания равен 0,000 001 сек. За одну секунду радиоволна проходит 300 000 000 м, а за 0,000 001 сек она пройдёт расстояние в миллион раз меньше, т. е. 300 м. Это и есть длина волны. Если частота тока станет вдвое меньше и будет составлять 500 000 гц, то период колебания станет равным 0,000 002 сек. За это время радиоволна пройдет путь в 600 м. Чем меньше частота, тем больше длина волны, и наоборот.

### **Длина волны и частота обратно пропорциональны друг другу**

Длину радиоволны всегда можно вычислить, если разделить скорость распространения, равную 300 000 км/сек, на частоту. Чтобы длина волны получилась в метрах, скорость распространения следует принимать 300 000 000 м/сек

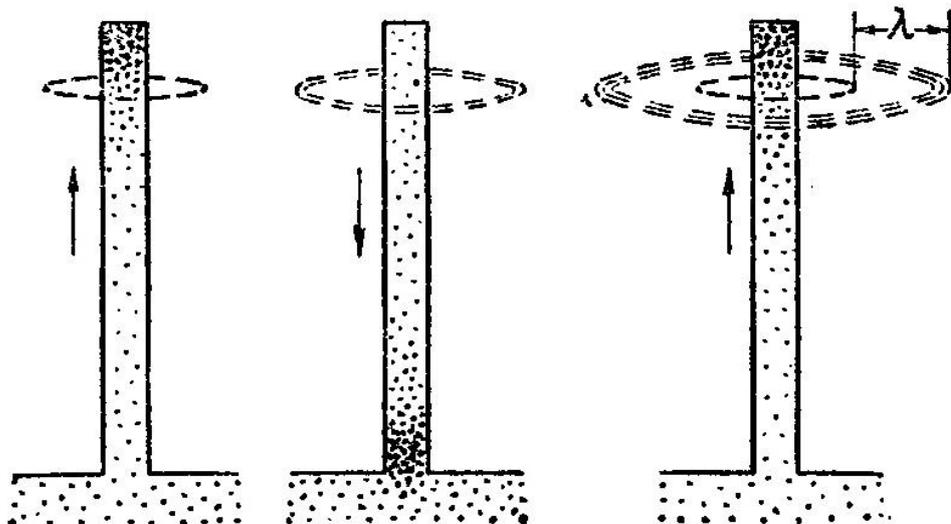
$$\lambda_{(м)} = \frac{300\,000\,000}{f_{(гц)}}$$

и наоборот, если нам необходимо найти частоту:

$$f_{(гц)} = \frac{300\,000\,000}{\lambda_{(м)}}$$

Если говорить о длине волны, то нам следует упомянуть об условии возникновения радиоволны. Радиоволна — это ток высокой частоты. Токами высокой частоты называют токи, частота которых свыше 10 000 Гц. Когда такие токи циркулируют в проводнике, они производят электромагнитные волны.

Отделяясь от проводника, волны распространяются в виде колец, радиус которых увеличивается со скоростью 300 000 000 м/с.

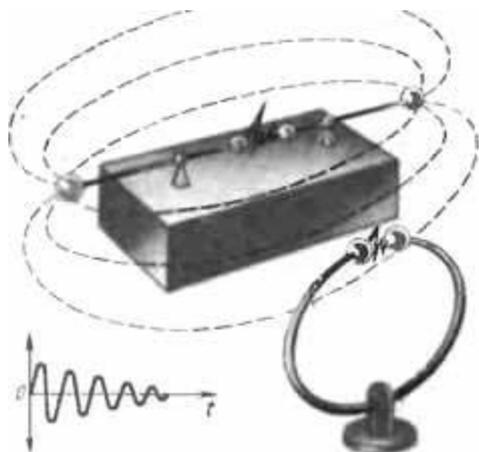


**Движение электронов в антенне  
и образование воли.**

### **ДЛИНА ВОЛНЫ**

Так что же такое длина волны? Это расстояние между двумя электромагнитными кольцами, которые последовательно отделяются от антенны. За каждый период тока высокой частоты отделяется одно кольцо. Таким образом, когда второе кольцо отделяется от антенны, первое уже прошло некоторое расстояние называемое длиной волны. Равенство скорости распространения электромагнитных волн, создаваемых переменным током, и скорости света не случайно, потому что световые лучи, как, между прочим, и тепловые, по своей природе тоже электромагнитные колебания. Мысль о родстве световых и электрических явлений высказал русский учёный Михаил Васильевич Ломоносов ещё в середине XVIII в. Теорию электромагнитных волн развил Кларк Максвелл в первой половине XIX века. Однако только в 1888 г. немецкому учёному Генриху Герцу удалось опытным путём доказать сам факт существования электромагнитных волн и найти возможность обнаружить их. В его опытной установке излучателем электромагнитных волн был вибратор — два стержня с металлическими шарами на концах, источником напряжения питания вибратора — индукционная катушка

Румкорфа, а приёмником электромагнитной энергии — резонатор, представляющий собой незамкнутый виток провода, тоже с шарами на концах.



Половинки вибратора заряжались до столь высокого напряжения, что между внутренними шарами через воздух проскакивала электрическая искра — искусственная молния в миниатюре. Происходил электрический разряд. В этот момент, длившийся малые доли секунды, вибратор излучал короткую серию быстропеременных затухающих, т. е. убывающих по амплитуде, электромагнитных волн. Пересекая провод резонатора, расположенного поблизости, электромагнитная энергия возбуждала в нём электрические колебания, о чём свидетельствовала очень слабая искра, появлявшаяся между шарами резонатора. Ещё разряд и новая очередь затухающих электромагнитных колебаний возбуждала в резонаторе слабый переменный ток. Так Генрих Герц нашёл способ возбуждения электромагнитных волн и обнаружения их. Но он не представлял себе путей практического использования своего открытия.

#### Занятие 4. Работа с резисторами

##### РЕЗИСТОРЫ

Резисторов в транзисторном приёмнике средней сложности может быть 20–25 штук. Используют их для ограничения тока в цепях, для создания на отдельных участках цепей падений напряжений, для разделения пульсирующего тока на его составляющие, для регулирования громкости, тембра звука и т. д.

## Типы резисторов

Для резисторов сравнительно небольших сопротивлений, рассчитанных на токи в несколько десятков миллиампер, используют тонкую проволоку из никелина, нихрома и некоторых других металлических сплавов. Это **проволочные резисторы**. Для резисторов больших сопротивлений, рассчитанных на сравнительно небольшие токи, используют различные сплавы металлов и углерод, которые тонкими слоями наносят на изоляционные материалы. Эти резисторы называют **непроволочными (металлопленочными) резисторами**. Как проволочные, так и непроволочные резисторы могут быть постоянными, т. е. с неизменными сопротивлениями, и переменными, сопротивления которых в процессе работы можно изменять от некоторых минимальных до их максимальных значений.

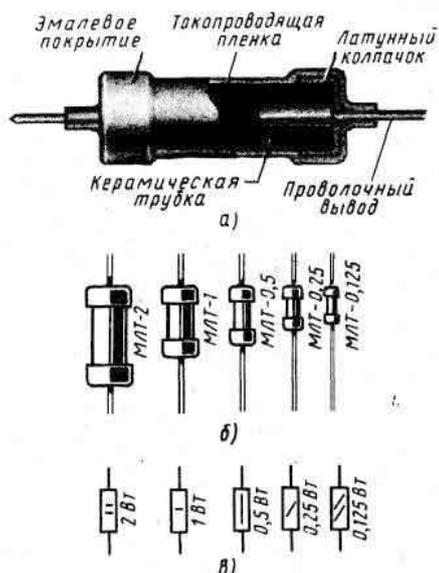
## Характеристики резисторов

Основные характеристики резистора: номинальное, т. е. указанное на его корпусе сопротивление, номинальная мощность рассеяния и наибольшее возможное отклонение действительного сопротивления от номинального (указываемое в процентах). Мощностью рассеяния называют ту наибольшую мощность тока, которую резистор может длительное время выдерживать и рассеивать в виде тепла без ущерба для его работы. Если, например, через резистор сопротивлением 100 Ом течёт ток 0,1 А, то он рассеивает мощность 1 Вт. Если резистор не рассчитан на такую мощность, то он может быстро сгореть. Номинальная мощность рассеяния это, по существу, характеристика электрической прочности резистора.

## Конструкции резисторов

Из постоянных наиболее распространены металлопленочные резисторы МЛТ (Металлизованные Лакированные Теплостойкие). Конструкции резистора этого типа показана на рисунке 3а. Его основой служит керамическая трубка, на поверхность которой нанесён слой специального сплава, образующего токопроводящую плёнку толщиной 0,1 мкм. У высокоомных резисторов этот слой может иметь форму спирали. На концы стержня с токопроводящим покрытием

напрессованы металлические колпачки, к которым приварены контактные выводы резистора. Сверху корпус резистора покрыт влагостойкой цветной эмалью. Резисторы МЛТ изготавливают на мощности рассеяния 2, 1, 0,5, 0,25 и 0,125 Вт. Их обозначают соответственно: МЛТ-2, МЛТ-1, МЛТ-0,5, МЛТ-0,25 и МЛТ-0,125. Внешний вид этих резисторов и условные изображения мощностей рассеяния на принципиальных схемах показаны на рисунке 3 б и в.

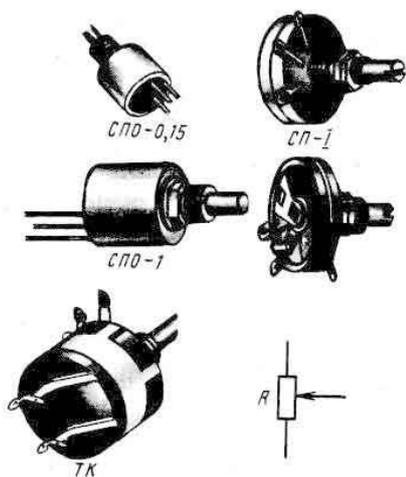


*Рис. 3. Постоянные резисторы и их условно-графическое обозначение на схемах (УГО)*

Со временем вы научитесь распознавать мощности рассеяния резисторов по их внешнему виду. Наибольшее возможное отклонение действительного сопротивления резистора от номинального выражают в процентах. Если, например, номинал резистора 100 кОм с допуском 10%, это значит, что его фактическое сопротивление может быть в пределах от 90 до 110 кОм.

Переменный непроволочный резистор устроен так (на рис. 4 резистор СП-1 показан без защитной крышки): к круглому пластмассовому основанию приклеена дужка из гетинакса, покрытая тонким слоем сажи (резистивный слой), перемешанной с лаком. Этот слой, обладающий сопротивлением, и является собственно резистором. От обоих концов слоя сделаны выводы. В центр основания впрессована втулка. В ней вращается ось, а вместе с осью фигурная гетинаксовая пластинка. На внешнем конце пластинки укреплена токосъёмная щётка (ползунок)

из нескольких пружинящих проволочек, которая соединена со средним выводным лепестком. При вращении оси щётка перемещается по слою сажи на дужке, вследствие чего изменяется сопротивление между средним и крайними выводами. Сверху резистор закрыт металлической крышкой, предохраняющей его от повреждений.



*Рис. 4. Конструкция и УГО переменных резисторов на схемах*

Так или примерно так, устроены почти все переменные резисторы, в том числе типов СП (Сопротивление Переменное), СПО (Сопротивление Переменное Объемное) и ВК. Резисторы ТК отличаются от резисторов ВК только тем, что на их крышках смонтированы выключатели, используемые для включения источников питания. Принципиально так же устроены и малогабаритные дисковые переменные резисторы, например типа СПЗ-Зв. Переменные непроволочные резисторы изготавливают с номинальными сопротивлениями, начиная с 47 Ом, с допусками отклонения от номинала 20, 25 и 30%.

### **Обозначение резисторов**

На принципиальных схемах, чтобы не загромождать их, используют систему сокращённых обозначений сопротивлений резисторов, при которой наименования единиц их сопротивлений (Ом, кОм, МОм) при числах не ставят. Сопротивления резисторов от 1 до 999 Ом обозначают на принципиальных схемах целыми числами, соответствующими омам, а сопротивления резисторов от 1 до 999 кОм — цифрами, указывающими число кило Ом, с буквой (К). Большие сопротивления резисторов указывают в мегаомах с буквой (М). Вот несколько примеров

обозначения сопротивлений резисторов на схемах: R1 270 соответствует 270 Ом; R2 6,8к — 6800 Ом; R3 56 к — 56 кОм (56 000 Ом); R4 220к–220кОм (0,22 МОм); R5 1.5М — 1,5 МОм. Сразу же сделаю оговорку: для подавляющего большинства радиолюбительских конструкций без ущерба для их работы допустимо отклонение от указанных на схемах номиналов резисторов в пределах до 10–15%, порой и больше. Это значит, что резистор сопротивлением, например, 5,1 кОм может быть заменён резистором ближайшего к нему номинала, т. е. резистором с номиналом 4,7 или 5.6 кОм.

### Схема соединения резисторов

Представьте себе такой случай. Вам нужен резистор определённого сопротивления. А у вас нет такого, но есть резисторы других номиналов. Можно ли из них составить резистор нужного сопротивления? Можно, конечно, если знать элементарный расчёт последовательного и параллельного соединений сопротивлений электрических цепей и резисторов. При последовательном соединении резисторов (рис. 5а) их общее сопротивление  $R_{\text{общ}}$  равно сумме сопротивлений всех соединённых в эту цепочку резисторов, т. е.

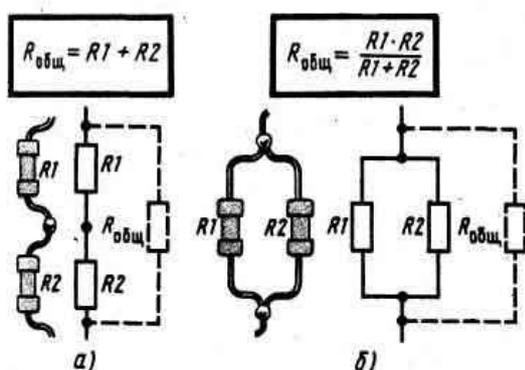


Рис. 5. Последовательное (а) и параллельное (б) соединение резисторов

$R_{\text{общ}} = R1 + R2 + R3$  и т. д. Так, например, если  $R1 = 15\text{кОм}$  и  $R2 = 33\text{кОм}$ , то их общее сопротивление  $R_{\text{общ}} = 15 + 33 = 48\text{кОм}$  (ближайшие номиналы 47 и 51 кОм). При параллельном соединении резисторов (рис. 5б) их общее сопротивление  $R_{\text{общ}}$  уменьшается и всегда меньше сопротивления каждого отдельно взятого резистора. Результирующее сопротивление цепи из параллельно соединённых двух резисторов рассчитывают по такой формуле:  $R_{\text{общ}} = R1 * R2 / (R1 + R2)$  т. е.

произведение двух резисторов делят на сумму. Если оба резистора имеют одинаковый номинал, тогда значение номинала одного из резисторов, просто делят на 2. Допустим, что  $R_1 = 20\text{кОм}$ , а  $R_2 = 30\text{кОм}$ . Общее сопротивление участка цепи, состоящей из этих двух резисторов, равно:  $R_{\text{общ.}} = R_1 * R_2 / (R_1 + R_2) = 20 * 30 / (20 + 30) = 12\text{кОм}$ . Нужно сказать, что при соединении параллельно более двух резисторов  $R_{\text{общ.}}$  рассчитывают по нижеприведённой формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

## Занятие 5. Пассивные радиоэлементы

### КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы, как и резисторы, относятся к наиболее многочисленным элементам радиотехнических устройств. Основное свойство конденсаторов — способность накапливать электрический заряд.

#### Ёмкость, единицы измерения

Основной параметр конденсатора это его ёмкость. Ёмкость конденсатора будет тем значительнее, чем больше площадь его обкладок и чем тоньше слой диэлектрика между ними. Основной единицей электрической ёмкости является фарада (сокращенно Ф), названная так в честь английского физика М. Фарадея. Однако 1 Ф — это очень большая ёмкость. Земной шар, например, обладает ёмкостью меньше 1 Ф. В электро- и радиотехнике пользуются единицей ёмкости, равной миллионной доле фарады, которую называют микрофарадой (сокращенно мкФ). В одной фараде 1000000 мкФ, т. е.  $1\text{ мкФ} = 0,000001\text{ Ф}$ . Но и эта единица ёмкости часто оказывается слишком большой. Поэтому существует ещё более мелкая единица ёмкости, именуемая пикофарадой (сокращенно пФ), представляющая собой миллионную долю микрофарады, т.е.  $0,000001\text{ мкФ}$ ;  $1\text{ мкФ} = 1000000\text{ пФ}$ . Все конденсаторы, будь то постоянные или переменные, характеризуются, прежде всего, их ёмкостями, выраженными соответственно в пикофарадах, нанофарадах и микрофарадах. На принципиальных схемах ёмкость конденсаторов от 1 до 9999 пФ указывают целыми числами, соответствующими их ёмкостям в этих единицах без обозначения пФ, а ёмкость конденсаторов от 0,01

мкФ (10000 пФ) и более — в долях микрофарады или микрофарадах без обозначения мкФ. Если ёмкость конденсатора равна целому числу микрофарад, то в отличие от обозначения ёмкости в пикофарадах после последней значащей цифры ставят запятую и нуль. Примеры обозначения ёмкостей конденсаторов на схемах: С1 47 соответствует 47 пФ, С2 3300 соответствует 3300 пФ; С3 0,47 соответствует 0,047 мкФ (47000 пФ); С4 0,1 соответствует 0,1 мкФ; С5 20,0 соответствует 20 мкФ. Существует ещё и промежуточная величина ёмкости — нанофарад, это тысячная доля микрофарад. Например:  $1000\text{пф} = 1\text{нф}$  или  $0,01\text{мкф} = 10\text{нф}$ , как перевести большую физическую величину, в меньшую и наоборот, я думаю, вы уже догадались, здесь чистая математика.

### Сопротивление конденсатора

Как мы знаем, конденсатор в простейшем виде представляет собой две пластинки, разделённые диэлектриком. Если его включить в цепь постоянного тока, то ток в этой цепи прекратится. Да это и понятно: через изолятор, которым является диэлектрик конденсатора, постоянный ток течь не может. Включение конденсатора в цепь постоянного тока равнозначно разрыву цепи (мы не принимаем во внимание момент включения, когда в цепи появляется кратковременный ток зарядки). Иначе ведёт себя конденсатор в цепи переменного тока. Вспомним: полярность напряжения на зажимах источника переменного тока периодически меняется. Значит, если включить конденсатор в цепь, питаемую от такого источника тока, его обкладки будут попеременно перезаряжаться с частотой этого тока. В результате в цепи будет протекать переменный ток. Конденсатор подобно резистору и катушке индуктивности оказывает переменному току сопротивление, но разное, для токов различных частот. Он может хорошо пропускать токи высокой частоты и одновременно быть почти изолятором для токов низкой частоты. Радиолюбители, например, иногда вместо наружных антенн используют провода электроосветительной сети, подключая приёмники к ним через конденсатор ёмкостью 220–510 пФ. При такой ёмкости хорошо пропускает токи высокой частоты, необходимые для работы приёмника, но оказывает большое сопротивление переменному току частотой 50 Гц, текущему в сети. В этом случае

конденсатор становится своеобразным фильтром, пропускающим ток высокой частоты и задерживающим ток низкой частоты. Ёмкостное сопротивление конденсатора переменному току зависит от его ёмкости и частоты тока: чем больше ёмкость конденсатора и частота тока, тем меньше его ёмкостное сопротивление. Это сопротивление конденсатора можно с достаточной точностью определить по такой упрощённой формуле:  $R_c = 1 / 6 * F * C$ , где  $R_c$  — ёмкостное сопротивление конденсатора, Ом;  $F$  — частота тока, Гц;  $C$  — ёмкость данного конденсатора, Ф; цифра 6 — округлённое до целых единиц значение  $2\pi$  (точнее 6,28, так как  $\pi = 3,14$ ). Пользуясь этой формулой, давайте узнаем, как ведёт себя конденсатор по отношению к переменным токам, если использовать провода электросети в качестве антенны. Допустим, что ёмкость этого конденсатора 500 пФ (500 пФ = 0,0000000005 Ф). Частота тока электросети 50 Гц. За среднюю несущую частоту радиостанции примем 1 МГц (1000000 Гц), что соответствует волне длиной 300 м. Какое сопротивление конденсатор оказывает радиочастоте?  $R_c = 1 / (6 * 1000000 * 0,0000000005) = 300$  Ом. А, переменному току электросети?  $R_c = 1 / (6 * 50 * 0,0000000005) = 7$  МОм, приближенно. И вот результат: конденсатор ёмкостью 500 пФ оказывает току высокой частоты в 20000 раз меньшее сопротивление, чем току низкой частоты. Убедительно? Конденсатор меньшей ёмкости оказывает переменному току сети ещё большее сопротивление. **Нужно запомнить:** ёмкостное сопротивление конденсатора переменного тока уменьшается с увеличением его ёмкости и частоты тока, и наоборот, увеличивается с уменьшением его ёмкости и частоты тока, это свойство конденсатора, не пропускать постоянный ток. Ёмкостное сопротивление конденсатора по разному проводить переменные токи различных частот используют для разделения пульсирующих токов на их составляющие, задержания токов одних частот и пропускания токов других частот (ёмкостные фильтры).

## Занятие 6. Конструкция и типы конденсаторов

Все конденсаторы постоянной ёмкости имеют токопроводящие обкладки, а между ними керамика, слюда, бумага или какой-либо другой твёрдый диэлектрик. По виду используемого диэлектрика конденсаторы называют соответственно керамическими, слюдяными, бумажными. Внешний вид некоторых керамических конденсаторов постоянной ёмкости показан на рисунке 6. У них диэлектриком служит специальная керамика, обкладками — тонкие слои посеребрённого металла (напыление), нанесённые на поверхности керамики, а выводами — латунные посеребрённые проволочки или полоски, припаянные к обкладкам. Сверху корпус покрыт эмалью. Наиболее распространены керамические конденсаторы типов КДК (Конденсатор Дисковый Керамический) и КТК (Конденсатор Трубчатый Керамический), КМ. У типа КТК одна обкладка нанесена на внутреннюю, а вторая — на внешнюю поверхность тонкостенной керамической трубочки. Иногда трубчатые конденсаторы помещают в герметичные фарфоровые футлярики с металлическими колпачками на концах. Это конденсаторы типа КГК. Керамические конденсаторы обладают сравнительно небольшими емкостями — до нескольких тысяч пикофарад. Их ставят в те цепи, в которых течёт ток высокой частоты (цепь антенны, колебательный контур), для связи между ними. Чтобы получить конденсатор небольших размеров, но обладающий относительно большой ёмкостью, его делают не из двух, а из нескольких пластин, сложенных в стопку и отделённых друг от друга диэлектриком (рис. 6). В этом случае каждая пара расположенных рядом пластин образует конденсатор. Соединив эти пары пластин параллельно, получают конденсатор значительной ёмкости. Так устроено большинство конденсаторов со слюдяным диэлектриком. Их пластинами—обкладками служат листочки из алюминиевой фольги или слои серебра, нанесённые непосредственно на слюду, а выводами — отрезки посеребрённой проволоки. Такие конденсаторы отпрессованы пластмассой. Это конденсаторы КСО. В их наименовании имеется цифра, характеризующая форму и размеры, например, КСО-1, КСО-5. Чем больше цифра, тем больше и размеры конденсатора. Некоторые слюдяные конденсаторы выпускают в керамических влагонепроницаемых

корпусах. Их называют конденсаторами типа СГМ. Ёмкость слюдяных конденсаторов бывает от 47 до 50000 пФ (0,05 мкФ). Как и керамические, они предназначены для высокочастотных цепей, а также для использования в качестве блокировочных и для связи между высокочастотными цепями. В бумажных конденсаторах (рис. 6) диэлектриком служит пропитанная парафином тонкая бумага, а обкладками — фольга. Полоски бумаги вместе с обкладками свёртывают в рулон и помещают в картонный или металлический корпус. Чем шире и длиннее обкладки, тем больше ёмкость. Бумажные конденсаторы применяют главным образом в низкочастотных цепях, а также для блокировки источников питания. Разновидностей конденсаторов с бумажным диэлектриком много. И все имеют в своем обозначении букву Б (Бумажные). Конденсаторы типа БМ (Бумажные Малогабаритные) заключены в металлические трубочки, залитые с торцов специальной смолой (старого образца). Конденсаторы КБ имеют картонные цилиндрические корпуса. Конденсаторы типа КБГ—И помещают в фарфоровые корпуса с металлическими торцовыми колпачками, соединёнными с обкладками, от которых отходят узкие выводные лепестки. Конденсаторы ёмкостью до нескольких микрофард выпускают в металлических корпусах. К ним относятся конденсаторы типов КБГ-МП, КБГ-МН, КБГТ. В одном корпусе их может быть два—три.

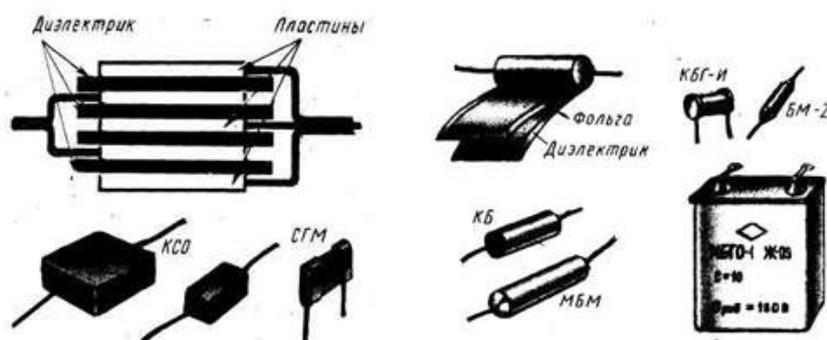


Рис. 6. Слюдяные

конденсаторы. Бумажные и металобумажные конденсаторы постоянной ёмкости

Диэлектриком конденсаторов типа МБМ (Металлобумажный Малогабаритный) служит лакированная конденсаторная бумага, а обкладками — слои металла толщиной меньше микрона, нанесённые на одну сторону бумаги. Характерная особенность конденсаторов этого типа — способность само

восстанавливаться после электрического пробоя диэлектрика. Особую группу конденсаторов постоянной ёмкости составляют электролитические (рис. 7). По внутреннему устройству электролитический конденсатор несколько напоминает бумажный. В нём имеются две ленты из алюминиевой фольги. Поверхность одной из них покрыта тончайшим слоем окиси. Между алюминиевыми лентами проложена лента из пористой бумаги, пропитанной специальной густой жидкостью — электролитом. Эту четырёхслойную полосу скатывают в рулон и помещают в алюминиевый цилиндрический стакан. Диэлектриком конденсатора служит слой окиси. Положительной обкладкой является та лента, которая имеет слой окиси. Она соединяется с изолированным от корпуса лепестком. Вторая, отрицательная обкладка — бумага, пропитанная электролитом через ленту, на которой нет слоя окиси, соединяется с металлическим корпусом. Таким образом, корпус является выводом отрицательной, а изолированный от него лепесток — выводом положительной обкладки электролитического конденсатора. Так, в частности, устроены конденсаторы типов КЭ, К50-3. Конденсаторы КЭ-2 отличаются от конденсаторов типов КЭ только пластмассовой втулкой с резьбой и гайкой для крепления на панели. Алюминиевые корпуса конденсаторов К50-3 имеют форму стакана диаметром 4,5–6 и длиной 15–20 мм. Выводы — проволочные. Аналогично устроены и конденсаторы типа К50-6. Но у них выводы электродов (обкладок) изолированы от корпусов. На принципиальных схемах электролитические конденсаторы изображают так же, как и другие конденсаторы постоянной ёмкости, двумя чёрточками, но возле положительной обкладки ставят знак «+». Электролитические конденсаторы обладают большими ёмкостями — от долей до нескольких тысяч микрофард. Они предназначены для работы в цепях с пульсирующими токами, например, в фильтрах выпрямителей переменного тока, для связи между низкочастотными цепями. При этом отрицательный электрод конденсатора соединяют с отрицательным полюсом цепи, а положительный — с её положительным полюсом. При несоблюдении полярности включения электролитический конденсатор выходит из строя. Номинальные ёмкости

электролитических конденсаторов пишут на их корпусах. Фактическая ёмкость может значительно отличаться от номинальной.

### Напряжение конденсатора

Важнейшей характеристикой любого конденсатора, кроме ёмкости, является также его номинальное напряжение, т. е. то напряжение, при котором конденсатор может длительное время работать, не утрачивая свои свойства. Это напряжение зависит от свойств и толщины слоя диэлектрика конденсатора. Керамические, слюдяные, бумажные и металобумажные конденсаторы различных типов рассчитаны на номинальные напряжения от 150 до 1000 В и более. Электролитические конденсаторы выпускают на номинальные напряжения от нескольких вольт до 30–50 В и от 150 до 450–500 В. В связи с этим их подразделяют на две группы: низковольтные и высоковольтные. Конденсаторы первой группы используют в цепях со сравнительно небольшим напряжением, а конденсаторы второй группы — в цепях с относительно высоким напряжением.

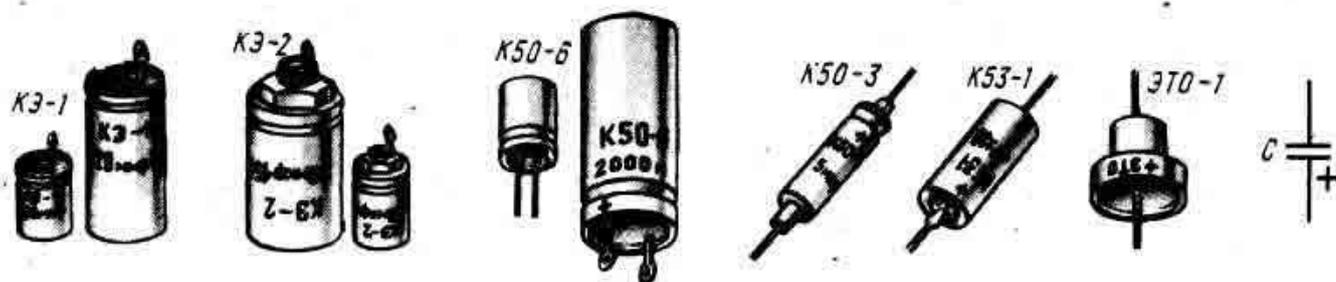


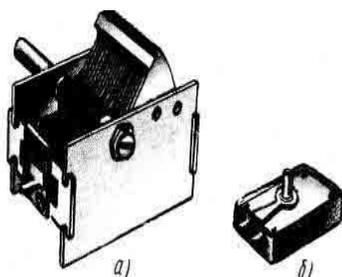
Рис.7. Электролитические конденсаторы

Подбирая конденсаторы для своих конструкций, всегда обращайтесь внимание на их номинальные напряжения. В цепи с меньшим напряжением, чем номинальное, конденсаторы включать можно, но в цепи с напряжением, превышающим номинальное, включать нельзя. Если на обкладках конденсатора окажется напряжение, превышающее его номинальное напряжение, то диэлектрик пробьётся (электролитический конденсатор в этом случае ещё не плохо разрывается, так что будьте осторожны!!!). Пробитый конденсатор непригоден для работы.

## Конденсатор переменной ёмкости

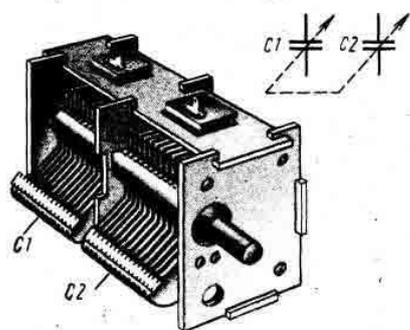
Устройство простейшего конденсатора переменной ёмкости вы видите на рисунке 8. Одна его обкладка — статор и неподвижна. Вторая — ротор и совмещена с осью. При вращении оси площадь перекрытия обкладок, а вместе с нею и ёмкость конденсатора изменяются. Конденсаторы переменной ёмкости, применяемые в настраиваемых колебательных контурах приёмников, состоят из двух групп пластин (рис. 9а), сделанных из листового алюминия или латуни. Пластины ротора соединены осью. Статорные пластины также соединены и изолированы от ротора. При вращении оси пластины статорной группы постепенно входят в воздушные зазоры между пластинами роторной группы, отчего ёмкость конденсатора плавно изменяется. Когда пластины ротора полностью выведены из зазоров между пластинами статора, ёмкость конденсатора наименьшая; её называют начальной ёмкостью конденсатора. Когда роторные пластины полностью введены между пластинами статора, ёмкость конденсатора будет наибольшей, т. е. максимальной для данного конденсатора. Максимальная ёмкость конденсатора будет тем больше, чем больше в нём пластин и чем меньше расстояние между подвижными и неподвижными пластинами. В конденсаторах, показанных на рис. 8 и 9а, диэлектриком служит воздух. В малогабаритных конденсаторах переменной ёмкости (рис. 9б) диэлектриком может быть бумага, пластмассовые плёнки, керамика. Такие конденсаторы называют конденсаторами переменной ёмкости с твёрдым диэлектриком. При меньших габаритах, чем конденсаторы с воздушным диэлектриком, они могут иметь значительные максимальные ёмкости. Именно такие конденсаторы и применяют для настройки колебательных контуров малогабаритных транзисторных приёмников. Наиболее распространены конденсаторы переменной ёмкости, имеющие начальную ёмкость в несколько пикофард и наибольшую 240–490 пФ. Не исключено, что один из таких конденсаторов вы уже видели и использовали для настройки своего первого радиоприёмника. В приёмниках с двумя настраиваемыми колебательными контурами используют блоки конденсаторов переменной ёмкости (КПЕ — спаренные, строенные и т. д.). В блоке КПЕ, показанном на рисунке 9, два

конденсатора, роторы которых имеют общую ось. При вращении оси одновременно изменяются ёмкости обоих конденсаторов. Одиночные конденсаторы и блоки конденсаторов переменной ёмкости с воздушным диэлектриком требуют к себе бережного отношения. Даже незначительное искривление или иное повреждение пластин приводит к замыканию между ними. Исправление же пластин конденсатора — дело сложное. К числу конденсаторов с твёрдым диэлектриком относятся и подстроечные конденсаторы, являющиеся разновидностью конденсаторов переменной ёмкости.



*Рис. 8. Простейший конденсатор переменной ёмкости*

*Рис. 9. Конденсаторы переменной ёмкости с воздушным (а) и твёрдым (б) диэлектриком*



*Рис. 10. Пример конструкции двухсекционного конденсатора, с воздушным диэлектриком, переменной ёмкости*

Чаще всего такие конденсаторы используют для подстройки контуров в резонанс, поэтому их называют подстроенными. Конструкции наиболее распространенных подстроечных конденсаторов показаны на рисунке 11. Каждый из них состоит из сравнительно массивного керамического основания и тонкого керамического диска. На поверхность основания (под диском) и на диск нанесены в виде секторов металлические слои, являющиеся обкладками конденсатора. При

вращении диска вокруг оси изменяется площадь перекрытия секторов — обкладок, изменяется ёмкость конденсатора.



Рис.11. Подстроечные конденсаторы и их УГО

Ёмкость подстроенных конденсаторов указывают на их корпусах в виде дробного числа, где числитель — наименьшая, а знаменатель — наибольшая ёмкость данного конденсатора. Если, например, на конденсаторе указано 6/30, то это значит, что наименьшая его ёмкость 6 пФ, а наибольшая 30 пФ. Подстроечные конденсаторы обычно имеют наименьшую ёмкость 2–5 пФ, а наибольшую до 100–150 пФ. Некоторые из них, например КПК-2, можно использовать в качестве конденсаторов переменной ёмкости для настройки простых одноконтурных приёмников. Конденсаторы, как и резисторы, можно соединять параллельно или последовательно, если нужно добиться необходимой ёмкости. Если соединить конденсаторы параллельно (рис. 12а), то их общая ёмкость будет равна сумме ёмкостей всех соединённых конденсаторов, т. е.

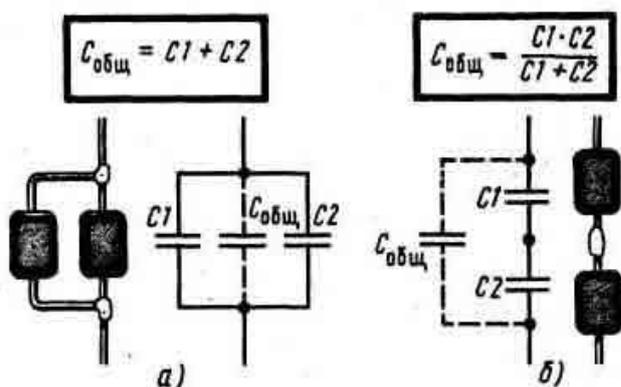


Рис.12. Параллельное (а) и

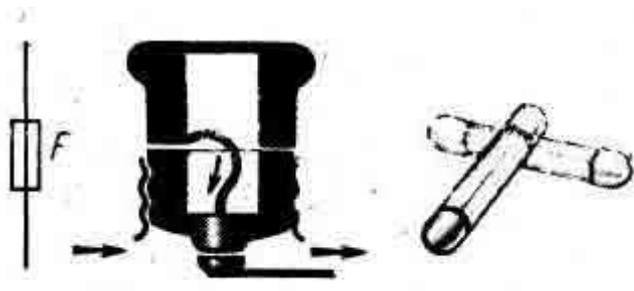
последовательное (б) соединение конденсаторов

$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3$  и т.д. Так, например, если  $C_1 = 33$  пФ и  $C_2 = 47$  пФ, то общая ёмкость этих двух конденсаторов будет:  $C_{\text{общ}} = 33 + 47 = 80$  пФ. При последовательном соединении конденсаторов (рис. 12б) их общая ёмкость всегда меньше наименьшей ёмкости, включённой в цепочку. Она подсчитывается по формуле  $C_{\text{общ}} = C_1 * C_2 / (C_1 + C_2)$ . Например, допустим, что  $C_1 = 220$  пФ, а  $C_2 =$

330 пФ; тогда  $C_{\text{общ}} = 220 * 330 / (220 + 330) = 132$  пФ. Когда соединяют последовательно два конденсатора одинаковой ёмкости, их общая ёмкость будет в двое меньше ёмкости каждого из них. Внимательный читатель должен был заметить абсолютное сходство в расчётах с резисторами. Да, действительно, формулы те же, с той лишь разницей, что применяются они, наоборот, в зависимости от типа соединения. Важно ещё запомнить и то обстоятельство, что при последовательном соединении общая ёмкость уменьшается, а максимально допустимое рабочее напряжение увеличивается, т. е. оно будет равняться суммарному напряжению всех конденсаторов входящих в цепочку соединения.

### **КОРОТКО О ПЛАВКОМ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕ**

Этот прибор представляет собой отрезок проволоки, толщина которой рассчитана на пропускание тока некоторой расчётной величины, например 0,25 А. Он предохраняет источник тока от перегрузки. Предохранители имеют все электросети, иногда штепсельные розетки, радиоконструкции, питающиеся от электроосветительной сети. Плавкий предохранитель вставляют в разрыв электрической цепи, чтобы через него проходил весь ток, потребляемый цепью. Пока ток не превышает допустимой нормы, проволока предохранителя чуть тёплая или совсем холодная. Но как только в цепи появится недопустимо большая нагрузка или произойдет короткое замыкание, ток резко возрастет, расплавит проволоку и цепь автоматически разорвется. Патрон (в народе называют пробки) плавкого предохранителя, используемого в осветительной электросети, устроен так же, как патрон электролампы. В него ввёртывают фарфоровую пробку (рис. 13, слева), внутри которой имеется свинцовая проволока.



*Рис.13. Плавкие предохранители*

Один конец её припаян к металлическому доньшку пробки, а другой — к металлическому цилиндру с резьбой, которым предохранитель ввёртывают в

патрон. Проволока плавкого предохранителя радиоконструкции (на рис. 13, справа) заключена в стеклянную трубочку и концами припаяна к металлическим колпачкам, выполняющим роль контактов. Этими контактами предохранитель вставляют в специальный патрон (держатель) или между двумя металлическими стоечками, к которым подведены провода защищаемой от перегрузок сети. Причину, вызвавшую перегорание предохранителя, надо найти, устранить, и только после этого, соблюдая осторожность, можно вставлять в электрическую цепь новый предохранитель, при отключенной электросети!!!

## **Занятие 7. Электропроводность**

### **ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИК?**

На предыдущих занятиях мы рассказывали о проводниках и диэлектриках и вскользь упомянули о том, что есть промежуточная форма проводимости, которая при определённых условиях может принимать свойства проводника или диэлектрика. Этот тип веществ называют полупроводниками. Напомню: по электрическим свойствам полупроводники занимают среднее место между проводниками и непроводниками тока. Наиболее часто для производства полупроводников используют германий, кремний, реже — селен, закись меди и другие вещества.

**Свойства полупроводников.** Электропроводность полупроводников сильно зависит от окружающей температуры. При температуре, близкой к абсолютному нулю ( $- 273\text{C}$ ), они ведут себя по отношению к электрическому току как изоляторы. Большинство же проводников, наоборот, при такой температуре становятся сверхпроводящими, т. е. почти не оказывают току никакого сопротивления. С повышением температуры проводников их сопротивление электрическому току увеличивается, а сопротивление полупроводников уменьшается. Электропроводность проводников не изменяется при действии на них света. Электропроводность же полупроводников под действием света, так называемая фотопроводность, повышается. Полупроводники могут преобразовывать энергию света в электрический ток. Проводникам же это совершенно не свойственно.

Электропроводность полупроводников резко увеличивается при введении в них атомов некоторых других элементов. Электропроводность же проводников при введении в них примесей понижается.

Германий и кремний, являющиеся исходными материалами многих современных полупроводниковых приборов, имеют во внешних слоях своих оболочек по четыре валентных электрона. Всего же в атоме германия 32 электрона, а в атоме кремния 14. Но 28 электронов германия и 10 электронов кремния, находящиеся во внутренних слоях их оболочек, прочно удерживаются ядрами и ни при каких обстоятельствах не отрываются от них. Только четыре валентных электрона атомов этих полупроводников могут, да и то не всегда, стать свободными. Атом же полупроводника, потерявший хотя бы один электрон, становится положительным ионом. В полупроводнике атомы расположены в строгом порядке: каждый из них окружен четырьмя такими же атомами. Они к тому же расположены настолько близко друг к другу, что их валентные электроны образуют единые орбиты, проходящие вокруг всех соседних атомов, связывая их в единое вещество.

Такую взаимосвязь атомов в кристалле полупроводника можно представить себе в виде плоской схемы, как показано на рисунке 14а. Здесь большие шарики со знаком «+» условно изображают ядра атомов с внутренними слоями электронной оболочки (положительные ионы), а маленькие шарики — валентные электроны. Каждый атом, окружён четырьмя точно такими же. Любой из них связан с каждым соседним двумя валентными электронами, один из которых «свой», а второй заимствован у «соседа». Это двух электронная, или валентная, связь. Самая прочная связь! В свою очередь, внешний слой электронной оболочки каждого атома содержит восемь электронов: четыре своих и по одному от четырёх соседних атомов. Здесь уже невозможно различить, какой из валентных электронов «свой», а какой «чужой», поскольку они стали общими. При такой связи атомов во всей массе кристалла германия или кремния можно считать, что кристалл полупроводника представляет собой одну большую молекулу. Схему взаимосвязи атомов в полупроводнике можно для наглядности упростить, изобразив её так, как это

сделано на рисунке 14б. Здесь ядра атомов с внутренними электронными оболочками показаны в виде кружков со знаком плюс, а межатомные связи — двумя линиями, символизирующими валентные электроны.

### Электропроводность полупроводников

При температуре близкой к абсолютному нулю, полупроводник ведёт себя как абсолютный непроводник, потому что в нём нет свободных электронов. Если повышения температуры нет, связь валентных электронов с атомными ядрами ослабевает и некоторые из них вследствие теплового движения могут покинуть свои атомы. Вырвавшийся из межатомной связи электрон становится свободным (на рис. 14б — чёрная точка), а там, где он был до этого, образуется пустое место. Это пустое место в межатомной связи полупроводника условно называют дыркой (на рис. 14б — разорвавшаяся линия). Чем выше температура, тем больше появляется свободных электронов и дырок. Таким образом, образование в массе полупроводника дырки связано с уходом из оболочки атома валентного электрона, а возникновение дырки соответствует появлению положительного электрического заряда, равного отрицательному электрона.

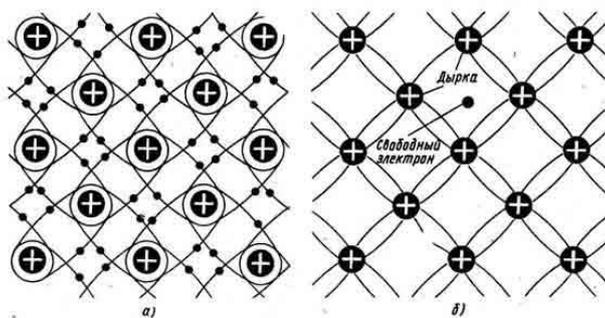


Рис 14. Схема взаимосвязи атомов в

кристалле полупроводника (а) и упрощённая схема его структуры (б)

А теперь рассмотрим рисунок 15. На нём схематично изображено явление возникновения тока в полупроводнике. Причиной возникновения тока служит напряжение, приложенное к полюсам (на рис. 15 источник напряжения символизируют знаки «+» и «-»). Вследствие тепловых явлений во всей массе полупроводника высвобождается из межатомных связей некоторое количество электронов (на рис. 15 они обозначены точками со стрелками). Электроны, освобождавшиеся вблизи положительного полюса источника напряжения,

притягиваются этим полюсом и уходят из массы полупроводника, оставляя после себя дырки. Электроны, ушедшие из межатомных связей на некотором удалении от положительного полюса, тоже притягиваются им и движутся в его сторону. Но, встретив на своём пути дырки, электроны как бы «впрыгивают» в них (рис. 15а), происходит заполнение межатомных связей. А ближние к отрицательному полюсу дырки заполняются другими электронами, вырвавшимися из атомов, расположенных еще ближе к отрицательному полюсу (рис. 15 б). Пока в полупроводнике действует электрическое поле, этот процесс продолжается: нарушаются одни межатомные связи — из них уходят валентные электроны, возникают дырки — и заполняются другие межатомные связи — в дырки «впрыгивают» электроны, освободившиеся из каких-то других межатомных связей (рис. 15 б, в).

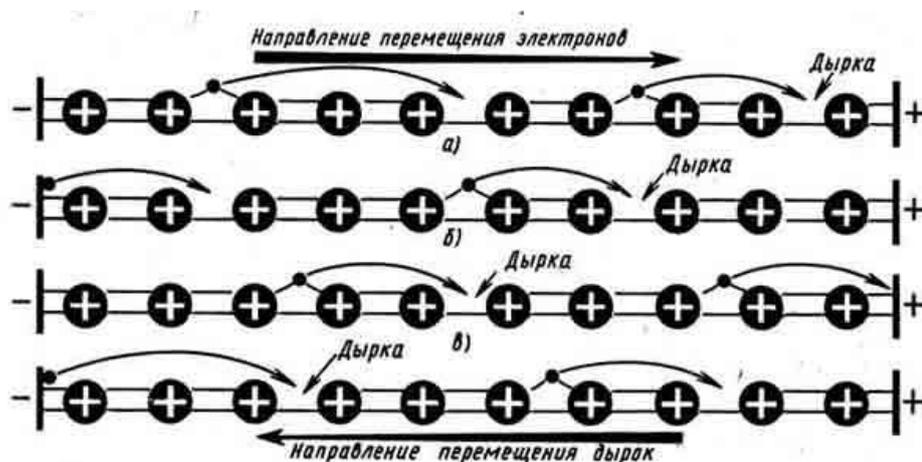


Рис 15. Схема движения электронов и дырок

При температуре выше абсолютного нуля в полупроводнике непрерывно возникают и исчезают свободные электроны и дырки даже тогда, когда нет внешних электрических полей. Но электроны и дырки движутся хаотически в разные стороны и не уходят за пределы полупроводника. В чистом полупроводнике число высвободившихся в каждый момент времени электронов равно числу образующихся при этом дырок. Общее же их число при комнатной температуре относительно невелико. Поэтому электропроводность такого полупроводника, (называемая собственной), мала, он оказывает электрическому току довольно большое сопротивление. Но если в чистый полупроводник добавить даже

ничтожное количество примеси в виде атомов других элементов, электропроводность его резко повысится. При этом в зависимости от структуры атомов примесных элементов электропроводность полупроводника будет электронной или дырочной.

### **Электронная проводимость**

Если какой-либо атом в кристалле полупроводника заменить атомом сурьмы, имеющим во внешнем слое электронной оболочки пять валентных электронов, этот атом — «пришелец» четырьмя электронами свяжется с четырьмя соседними атомами полупроводника. Пятый же валентный электрон атома сурьмы окажется «лишним» и станет свободным. Чем больше в полупроводник будет введено атомов сурьмы, тем больше в его массе окажется свободных электронов. Следовательно, полупроводник с примесью сурьмы приближается по своим свойствам к металлу: для того чтобы через него проходил электрический ток, в нём не обязательно должны разрушаться межатомные связи. Их называют полупроводниками с электропроводностью или типа (n). Здесь латинская буква n — начальная буква латинского слова negative (негатив), что значит «отрицательный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что в полупроводнике типа n основными носителями тока являются отрицательные заряды, т. е. электроны.

### **Дырочная проводимость**

Совсем иная картина получится, если в полупроводник ввести атомы с тремя валентными электронами, например, индия. Каждый атом металла индия своими тремя электронами заполнит связи только с тремя соседними атомами полупроводника, а для заполнения связи с четвёртым у него не хватает одного электрона. Образуется дырка. Она, конечно, может заполниться каким-либо электроном, вырвавшимся из валентной связи с другими атомами полупроводника. Однако независимо от того, где будут дырки, в массе полупроводника с примесью индия не будет хватать электронов для их заполнения. И чем больше будет введено в полупроводник примесных атомов индия, тем больше в нём образуется дырок. Чтобы в таком полупроводнике электроны могли перемещаться, совершенно обязательно должны разрушаться валентные связи между атомами. Вырвавшиеся из

них электроны или же электроны, поступившие в полупроводник извне, движутся от дырки к дырке. А во всей массе полупроводника в любой момент времени число дырок будет больше общего числа свободных электронов. Их называют полупроводниками с дырочной электропроводностью или тип (p). Латинская буква p — первая буква латинского слова positive (позитив), что значит «положительный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что явление электрического тока в массе полупроводника типа (p) сопровождается непрерывным возникновением и исчезновением положительных зарядов — дырок. Перемещаясь в массе полупроводника, дырки как бы являются носителями тока. Полупроводники типа p, так же как и типа n, обладают во много раз лучшей электропроводностью по сравнению с чистыми.

Надо сказать, что практически не существует как совершенно чистых полупроводников, так и абсолютно электро-проводимых типов n и p. В полупроводнике с примесью индия обязательно есть небольшое количество атомов некоторых других элементов, придающих ему электронную проводимость, а с примесью сурьмы есть атомы элементов, создающих в нём дырочную электропроводность. Например, в полупроводнике, имеющем в целом электропроводность типа n, есть дырки, которые могут заполняться свободными электронами примесных атомов сурьмы. Вследствие этого электропроводность несколько ухудшится, но в целом он сохранит электронную проводимость. Аналогичное явление будет наблюдаться и в том случае, если в полупроводник с дырочным характером попадут свободные электроны.

Поэтому в полупроводниках типа n — основными носителями тока являются электроны (преобладает электронная электропроводность), а в полупроводниках типа p — основными носителями тока являются дырки (преобладает дырочная электропроводность).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

- 1) Сворень Р.А. Ваш радиоприёмник. М.: Знание, 1963. 193 с. — Электроника для всех.
- 2) Сворень Р.А. Шаг за шагом. От детекторного приёмника до супергетеродина. М.: Детгиз, 1963. 336 с. — Школьная библиотека.
- 3) Сворень Р.А. Шаг за шагом. Усилители и радиоузлы. Изд. 4-е., дополн. и исправл. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001. Массовая радиобиблиотека, № 1248.
- 4) Сворень Р.А. Шаг за шагом. Транзисторы. М.: Детгиз, 1971. — 352 с.
- 5) Сворень Р.А. Электроника шаг за шагом. Практическая энциклопедия юного радиолюбителя Изд. 4-е., дополн. и исправл. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001.
- 6) Белый Ю.А. Считающая электроника; М.: Наука, 2011. - 120 с.
- 7) Велтистов Е., Приключения Электроника. Новые приключения Электроника. М.: Олма-Пресс, 2008. - 800 с.
- 8) Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника; М.: Высшая школа; Издание 2-е, перераб. и доп., 2010. - 622 с.
- 9) Жеребцов И.П. Радиотехника; М.: Связь, 2005. - 655 с.
- 10) Ицхоки Я.С. Нелинейная радиотехника; М.: Советское радио, 2001.
- 11) Пасс А.Е., Штумпф Э.П. Судовая электроника; Л.: Судостроение, 2006.

**Введение в радиоэлектронику.**  
**Учебное пособие для участников краевого слёта**  
**«TechnoSkills»**

**Направление: техническое (Лаборатория «РЭК-labs»)**

Краевое государственное автономное образовательное учреждение  
дополнительного образования  
«Центр развития творчества детей  
(Региональный модельный центр дополнительного образования детей  
Хабаровского края)»

680000, г. Хабаровск, ул. Комсомольская, 87  
тел. / факс: (4212) 30-57-13  
Инстаграм: @dop.obrazovanie27  
e-mail: yung\_khb@mail.ru  
<http://www.kcdod.khb.ru>

Подписано в печать: 15.07.2019 г.

Тираж: 55 экз.