

Минобрнауки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Вологодский государственный университет»

(ВоГУ)

Машиностроительный техникум

В.А. Кулигин

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Учебное пособие

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Вологда
2014

Рецензенты:

А.С. Степанов, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ВоГУ;
М.В. Румянцева, преподаватель высшей категории машиностроительного
техникума ВоГУ.

Кулигин В.А.

Электротехника и электроника: учебное пособие //
В.А. Кулигин. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 135с.

В учебном пособии представлены общие темы по дисциплине «Электротехника и электроника», а так же конструкция и принцип работы электрических приборов, электрических машин и полупроводниковых элементов, их условное графическое изображение и обозначение на электрических схемах. Учебное пособие предназначено для студентов машиностроительного техникума очной формы обучения по специальностям: 190631 – Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта, 151031 – Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям), 203401 – Информационные системы (по отраслям), 151901 – Технология машиностроения.

Содержание

Введение.....	6
1 ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКУ И ЭЛЕКТРОНИКУ.....	7
1.1 Основные понятия.....	7
1.2 Электрическая цепь и ее элементы.....	7
1.3 Параметры электрической цепи.....	9
1.4 Виды электрического тока.....	11
1.5 Классификация электрических элементов.....	11
1.6 Классификация материалов.....	13
1.7 Буквенно-цифровое обозначение.....	17
1.8 Механические переключатели.....	18
1.9 Контрольные вопросы.....	19
2 ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	21
2.1 Резистивные элементы.....	21
2.1.1 Общие сведения.....	21
2.1.2 Параметры резистивных элементов.....	23
2.2 Ёмкостные элементы.....	25
2.2.1 Основные понятия.....	25
2.2.2 Параметры ёмкостных элементов.....	26
2.2.3 Принцип работы конденсатора.....	28
2.3 Индуктивные элементы.....	30
2.3.1 Основные понятия.....	30
2.3.2 Работа и основные параметры индуктивных элементов.....	31
2.4 Режимы работы электрической цепи.....	32
2.5 Контрольные вопросы.....	33
3 ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.....	34
3.1 Общие сведения.....	34
3.2 Виды измерительных приборов.....	36
3.3 Магнитоэлектрическая измерительная система.....	39
3.4 Электромагнитная измерительная система.....	41
3.5 Электродинамическая измерительная система.....	42
3.6 Контрольные вопросы.....	44
4 ТРАНСФОРМАТОРЫ.....	46
4.1 Назначение и конструкция трансформатора.....	46
4.2 Принцип действия трансформатора.....	47
4.3 Классификация трансформаторов.....	48
4.4 Измерительные трансформаторы.....	50
4.5 Автотрансформаторы.....	53
4.6 Режимы работы трансформатора.....	54

4.7 Контрольные вопросы.....	56
5 МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	58
5.1 Общие сведения.....	58
5.2 Конструкция асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	59
5.3 Работа и подключение асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	61
5.4 Частота вращения асинхронного двигателя и его КПД.....	62
5.5 Синхронные машины.....	63
5.6 Работа и подключение синхронной машины.....	65
5.7 Частота вращения синхронного двигателя и его КПД.....	66
5.8 Контрольные вопросы.....	66
6 МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	67
6.1 Общие сведения.....	67
6.2 Конструкция машины постоянного тока.....	68
6.3 Работа и подключение двигателя постоянного тока средней мощности...	69
6.4 Крутящий момент двигателя постоянного тока и его КПД.....	72
6.5 Контрольные вопросы.....	72
7 ЭЛЕКТРОПРИВОД.....	73
7.1 Общие сведения.....	73
7.2 Реверсирование двигателей постоянного и переменного тока.....	74
7.3 Регулирование частоты вращения двигателей постоянного и переменного тока.....	75
7.4 Контрольные вопросы.....	76
8 ПОЛУПРОВОДНИКИ.....	77
8.1 Электропроводность полупроводников.....	77
8.2 Электрические переходы.....	79
8.3 Электронно-дырочный переход.....	79
8.4 Прямое и обратное включение P-N перехода.....	81
8.5 Пробои P-N перехода.....	83
8.6 Контакт «металл-полупроводник».....	84
8.7 Контрольные вопросы.....	85
9 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ.....	86
9.1 Общие сведения.....	86
9.2 Выпрямительный диод.....	87
9.3 Стабилитрон.....	90
9.4 Выпрямители.....	91
9.5 Контрольные вопросы.....	94
10 ТРАНЗИСТОРЫ.....	95
10.1 Общие сведения.....	95
10.2 Биполярный транзистор.....	97

10.3 Схемы включения биполярных транзисторов.....	99
10.4 Применение биполярных транзисторов.....	100
10.5 Полевой транзистор с управляющим Р-N переходом.....	103
10.6 МОП транзистор со встроенным каналом.....	106
10.7 МОП транзистор с индуцированным каналом.....	108
10.8 Контрольные вопросы.....	110
11 ТИРИСТОРЫ И СИМИСТОРЫ.....	112
11.1 Тиристоры.....	112
11.2 Симисторы.....	115
11.3 Контрольные вопросы.....	116
12 ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ.....	117
12.1 Общие сведения.....	117
12.2 Фоторезисторы.....	118
12.3 Фотодиоды.....	120
12.4 Фототранзисторы.....	121
12.5 Фототиристоры.....	112
12.6 Светодиоды.....	123
12.7 Способы получения белого света.....	124
12.8 Контрольные вопросы.....	126
13 СЛОВАРЬ.....	127
14 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	136

ВВЕДЕНИЕ

«Электротехника и электроника» – это общепрофессиональная дисциплина, изучаемая студентами по специальностям технического профиля. Дисциплина направлена на формирование общих и профессиональных компетенций, в том числе организовывать и проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту металлорежущего оборудования, автомобильного транспорта, организовывать безопасное ведение работ.

В процессе изучения дисциплины «Электротехника и электроника» студентам следует выполнить ряд лабораторно-практических работ. В процессе их выполнения студенты должны усвоить теоретические знания и знания техники безопасности при работе с электрическими приборами и машинами; овладеть умениями расчета электрических цепей, а также приобрести навыки работы с измерительными приборами, электрическими машинами, электронными компонентами и чтения электрических схем.

Учебное пособие имеет своей целью ознакомление студентов с конструкцией и принципом работы электрических приборов, их правильным измерением и подключением к цепи переменного и постоянного тока. При этом решаются следующие задачи: обобщение теоретических знаний по дисциплине, формирование специальных умений и навыков при работе с электрическими приборами, машинами и электронными компонентами. Особое внимание уделяется формированию компетенции, которая позволит студентам в будущем организовать собственную деятельность и выбрать типовые методы выполнения профессиональных задач, связанных с вопросами эксплуатации электрических цепей.

1 ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКУ И ЭЛЕКТРОНИКУ

1.1 Основные понятия

Электротехника – это отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения и изменения химического состава веществ, производства и обработки материалов, передачи информации, охватывающая вопросы получения, преобразования и использования электрической энергии в практической деятельности человека.

Электроника – это наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств, в которых это взаимодействие используется для обработки и хранения информации.

Для переработки, передачи и хранения информации и электроэнергии используются электрические цепи.

1.2 Электрическая цепь и ее элементы

Электрическая цепь – это совокупность источников и потребитель электрической энергии и соединяющих их проводов. Помимо этих элементов в электрическую цепь могут входить переключатели, измерительные приборы, устройства защиты и другие элементы.

В электротехнике электрические цепи напрямую не рассматриваются. Причиной тому служит то, что один и тот же электрический прибор в жизни может выглядеть по-разному, это касается формы и размеров прибора. Чтобы упростить взаимосвязь между человеком и прибором существует посредник. В роли посредника выступает электрическая схема.

Электрическая схема – это графическое изображение электрической цепи, в котором реальные элементы представлены в виде условных обозначений. На электрических схемах указывается не только электрические элементы, но и их буквенно-цифровое обозначение, маркировка, способы соединения элементов и другие параметры. Электрическая схема упрощает понимание работы схемы, так как показывает взаимосвязь между элементами.

На рисунке 1.1 слева представлена простая электрическая цепь, а справа электрическая схема, соответствующая электрической цепи. Цепь состоит из трех основных элементов: источник тока, потребитель и соединительные провода. В качестве источника тока выступает аккумуляторная батарея *GB1* с контактами «плюс» (+) и «минус» (–). В качестве потребителя электроэнергии выступает лампа накаливания *HL1*. Соединительные провода применяются в качестве поставщиков электроэнергии от источника к потребителю.

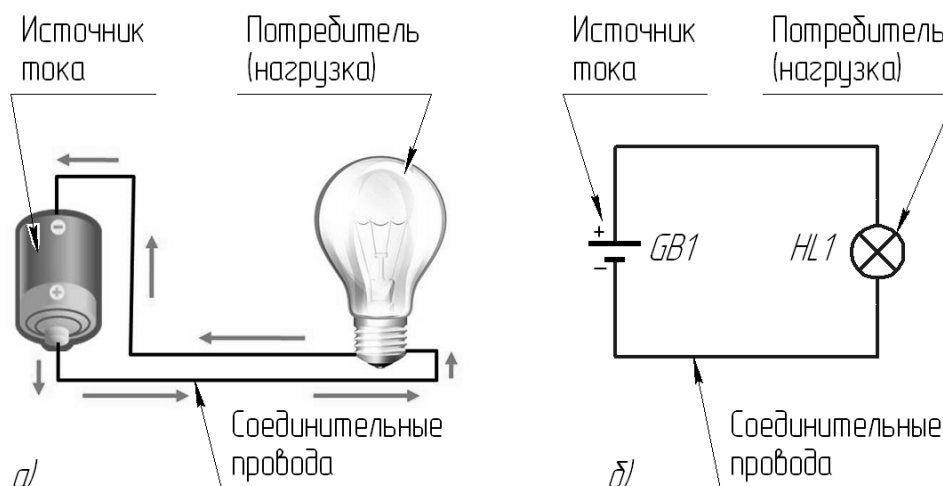


Рисунок 1.1 - Классификация электрических элементов

У каждого из элементов есть как минимум два контакта. Эти контакты отвечают за вход и выход электроэнергии, поэтому проводов два. Один провод предназначен для приема лампой электроэнергии, а второй провод – для отправки ее обратно на источник тока.

В соединении источника тока и потребителя можно выделить две ситуации: *замкнутая цепь* и *разомкнутая цепь* (см. рис. 1.2). Рассмотрим схему, состоящую из источника тока GB1 и двух ламп HL1 и HL2. Если оба контакта потребителя соединены с двумя контактами источника тока, то такая цепь является замкнутой. Этому состоянию соответствует соединение лампы HL1 и источника тока GB1. В этом случае через лампу будет протекать ток, и лампа будет гореть.

Если по какой-либо причине один из проводов между источником тока и потребителем будет отсутствовать, например, обрыв провода, то цепь окажется разомкнутой. Этому состоянию соответствует соединение лампы HL2 и источника тока GB1. В этом случае через лампу не будет протекать ток, и лампа не будет гореть.

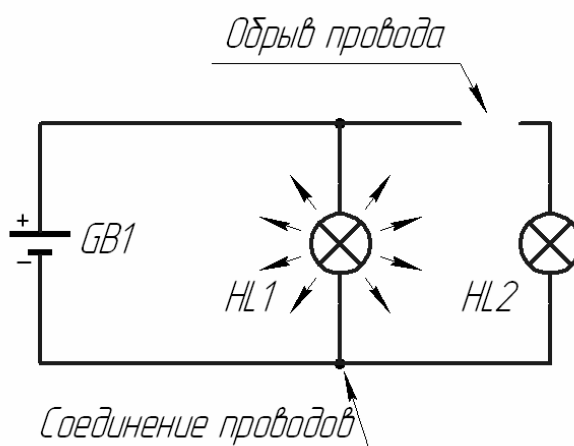


Рисунок 1.2 – Цепь разомкнутая и замкнутая

1.3 Параметры электрической цепи

Для того чтобы лампа загорелась, источник тока должен обладать определенными параметрами. Все параметры взаимосвязаны между собой и отвечают за определенную часть всей работы. Электрическая цепь обладает следующими основными параметрами: *электрический заряд* и *электрический потенциал*, *сила тока* и *напряжение*. Каждый из этих параметров может принимать любое значение в интервале $-\infty \dots +\infty$.

Как отмечалось ранее, по замкнутой цепи, в которой есть источник тока, потребитель и соединительные провода, протекает электрический ток. *Электрический ток* – это упорядоченное движение электрически заряженных частиц. В качестве электрически заряженных частиц выступают электроны. Электроны обладают отрицательным зарядом.

Для перемещения электрону необходим противоположно заряженный объект. В качестве такого объекта выступает энергетически незаполненный уровень (дырка) атома химического элемента. Энергетически незаполненный уровень имеет положительный заряд.

Взаимодействие электронов, с каким-либо объектом создает электрически заряженный объект. Концентрация электронов определяет полярность заряда объекта.

Положительно заряженный объект – это объект, у которого концентрация положительных зарядов превышает концентрацию отрицательных зарядов.

Отрицательно заряженный объект – это объект, у которого концентрация отрицательных зарядов превышает концентрацию положительных зарядов.

Если концентрации положительных и отрицательных зарядов примерно одинаковы, то тело является электрически нейтральным (см. рис. 1.3).

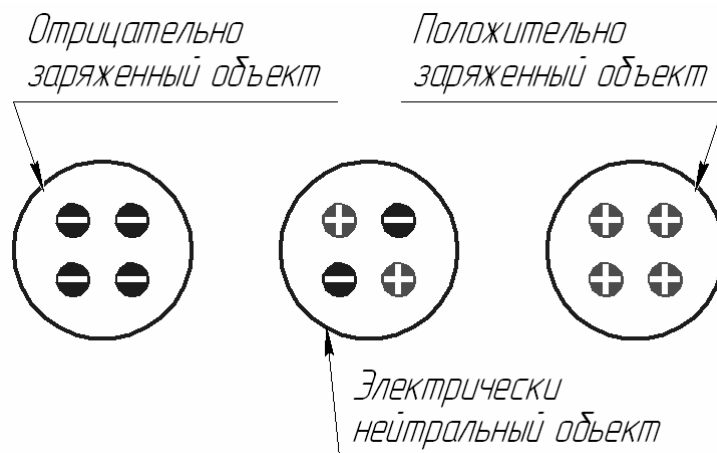


Рисунок 1.3 – Электрически заряженные объекты

При взаимодействии двух электрически заряженных объектов с разной концентрацией или с разной полярностью заряда, происходит появление

электрического тока (см. рис. 1.4). За направление электрического тока выбирается движение положительных зарядов.

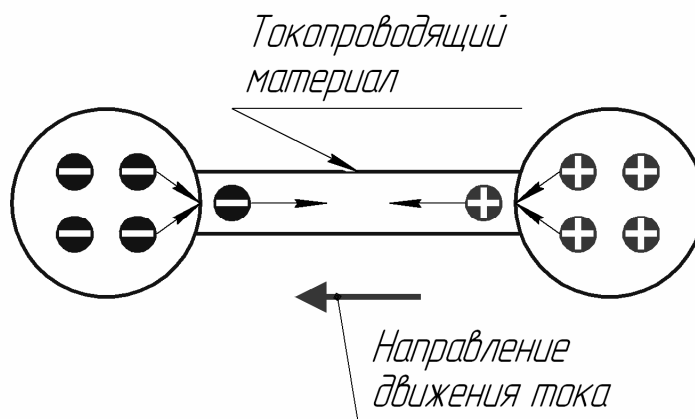


Рисунок 1.4 – Электрический ток

Параметрами электрически заряженного объекта являются электрический заряд и электрический потенциал.

Электрический заряд q – это количественный параметр, определяющий концентрацию носителей заряда. Электрический заряд объекта измеряется в кулонах (Кл).

Электрический потенциал ϕ – это энергетический параметр, определяющий величину работы, которую может совершить заряженный объект по перемещению единичного электрического заряда. Электрический потенциал объекта измеряется в вольтах (В). Знак электрического потенциала определяется концентрацией положительных и отрицательных зарядов электрически заряженного объекта.

Параметрами взаимодействия двух заряженных объектов являются сила тока и электрическое напряжение (см. рис. 1.5).

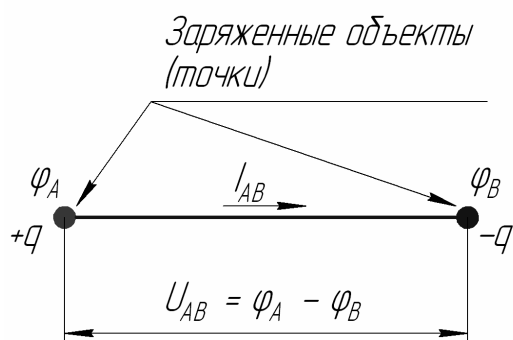


Рисунок 1.5 – Параметры взаимодействия двух заряженных объектов

Сила тока I – это характеристика электрического тока, равная отношению заряда переносимого через проводника за единицу времени. Сила тока, протекающего между объектами, измеряется в амперах (А).

$$I = \frac{q}{t}, \text{ где:}$$

t – время прохождения электрического заряда

Электрическое напряжение U – это разность потенциалов двух заряженных объектов. Электрическое напряжение измеряется в вольтах (В).

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

1.4 Виды электрического тока

В промышленности для питания различных установок и электрических приборов, применяются два вида тока: постоянный и переменный ток.

Постоянный ток – это ток, который не меняет свое направление и величину в любой промежуток времени (см. рис. 1.6а).

Переменный ток – это ток, который меняет свое направление и величину через равные промежутки времени (см. рис. 1.6б). Изменение обладает циклическостью и имеет синусоидальную зависимость.

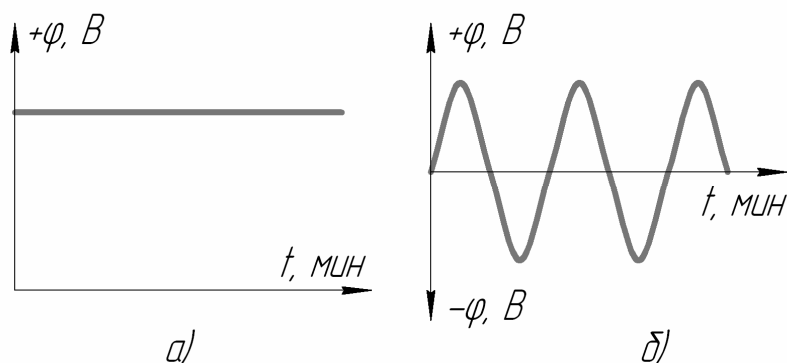


Рисунок 1.6 – Виды электрического тока

Переменный ток применяется для передачи электроэнергии на дальние расстояния и для питания электрических машин и трансформаторов. Достоинством переменного тока является способность к трансформации и незначительные потери при передаче на дальние расстояния. Недостатком является сложность управления параметрами тока, так как значения его параметров постоянно изменяются.

Постоянный ток применяется для питания машин постоянного тока и радиоаппаратуры, в которых применяются полупроводниковые элементы (компьютер, мобильный телефон и др.). Достоинством постоянного тока является удобство регулирования параметров тока, а недостатком – значительные потери при передаче на дальние расстояния и невозможность к трансформации.

1.5 Классификация электрических элементов

Основным критерием, по которому можно классифицировать электронные компоненты, является вольт-амперная характеристика.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) – это зависимость напряжения от тока (или тока от напряжения) на участке электрической цепи, выражаемая обычно в виде графика.

Оси $U_{пр}$ и $I_{пр}$ отражают прямое включение элементов, а $U_{обр}$ и $I_{обр}$ отражают обратное включение элемента.

Вольт-амперная характеристика является основной характеристикой для активных элементов, так как она показывает, как работает электрический элемент. Для каждого элемента существует своя зависимость тока от напряжения. Для пассивных элементов ВАХ не стоит на первом месте, так как для них отношение напряжения к току является величиной постоянной. Следовательно, изменение одного параметра приведет к пропорциональному изменению другого параметра.

На рисунке 1.7 приведена классификация электрических элементов.

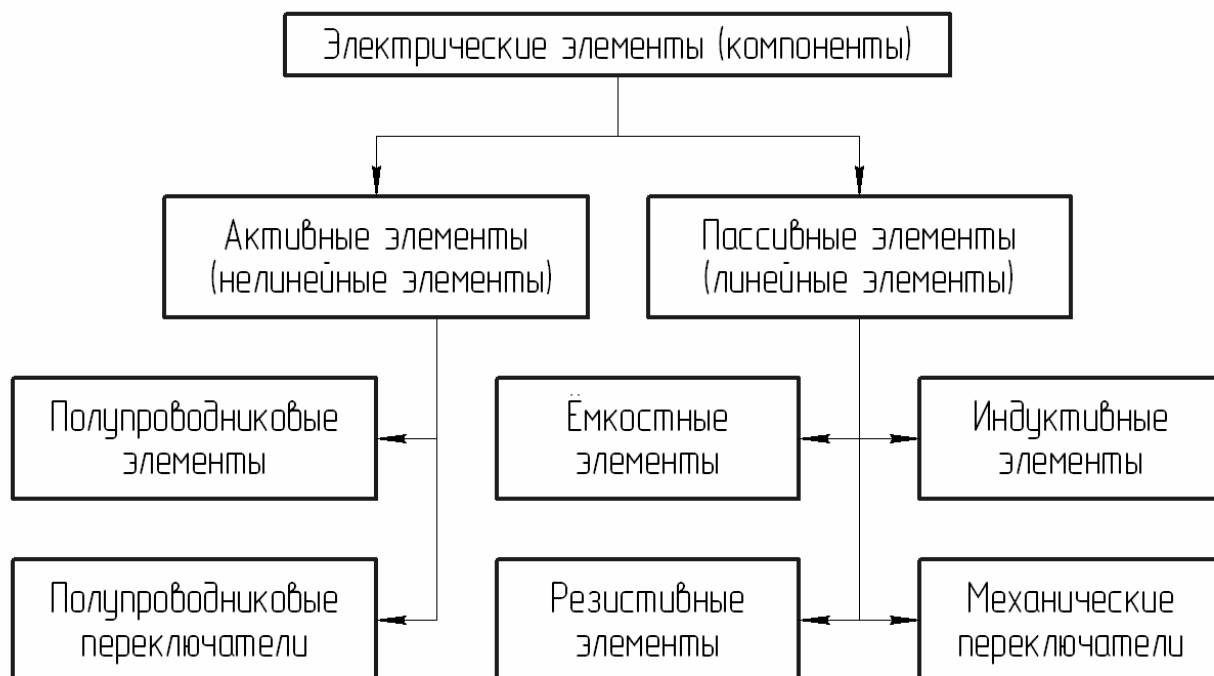


Рисунок 1.7 - Классификация электрических элементов

Пассивные (или линейные) элементы – это элементы, у которых вольт-амперная характеристика представляет прямую непрерывную линию, проходящую через начало координат (см. рис. 1.8а).

Активные (или нелинейные) элементы – это элементы, у которых вольт-амперная характеристика представляет собой изогнутую линию (см. рис. 1.8б). ВАХ у каждого полупроводникового элемента является своей. У некоторых полупроводниковых элементов ВАХ может на некоторых участках прерываться.

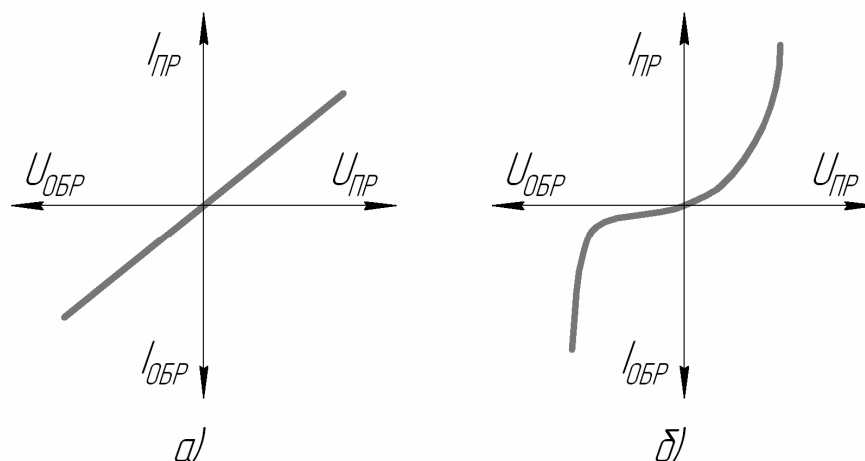


Рисунок 1.8 - Вольт-амперная характеристика линейного и нелинейного элемента

Полупроводниковые элементы – это элементы, которые используют свойство односторонней электропроводимости полупроводниковых материалов. К полупроводниковым элементам относятся полупроводниковые диоды, транзисторы, микросхемы и полупроводниковые переключатели (тиристоры и симисторы).

Ёмкостные элементы – это элементы, которые способны накапливать и удерживать на себе электрический заряд. К ёмкостным элементам относятся аккумуляторы и конденсаторы.

Резистивные элементы – это элементы, которые выступают в роли электрической нагрузки, так как оказывают сопротивление движению через них тока через них. К резистивным элементам относятся резисторы, нагревательные элементы, электрические лампы, провода и др.

Индуктивные элементы – это элементы, работа которых связана с созданием или с преобразованием магнитного поля. К индуктивным элементам относятся индуктивные катушки, электромагниты, трансформаторы, электрические машины постоянного и переменного тока.

Механические переключатели – это устройства коммутации, предназначенные для замыкания или размыкания электрической цепи.

1.6 Классификация материалов

В электротехнике и электронике применяется большое количество разнообразных материалов, каждый из которых обладает своими конкретными преимуществами перед другими материалами. Каждый материал обладает своей структурой и набором свойств. В зависимости от индивидуальных свойств материалы могут иметь широкую или узкую сферу применения. Все материалы нашедшие свое применение в электротехнике и электронике можно классифицировать по 2 основным параметрам: *по электропроводности и по*

магнитным свойствам. Каждый из параметров также имеет свою внутреннюю классификацию. Даже находясь в одной параметрической классификации, один и тот же материал может попасть в несколько групп.

Обладание материалом свойством проводить и не проводить через себя электрический ток является решающим фактором в их пригодности в той или иной сфере человеческой деятельности (см. рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Классификация материалов по электропроводности

Полупроводники – это материалы, которые обладают односторонней электропроводимостью.

Проводники – это материалы, хорошо проводящие электрический ток и содержащие большое количество свободных носителей заряда.

Металлы с низким удельным сопротивлением. Удельное сопротивление вещества определяет способность вещества пропускать через свою структуру свободные носители заряда или электрический ток. Чем выше удельное сопротивление, тем хуже электропроводность. К материалам с низким удельным сопротивлением относятся чистые металлы.

Серебро является драгоценным металлом, который применяется в электротехнике и электронике. Серебро обладает самым низким удельным

сопротивлением. Серебро применяется для изготовления контактов в переключателях, так как оно не окисляется на воздухе.

Медь является вторым по электропроводности материалом и обладает хорошей гибкостью. Медь применяется для изготовления электрических проводов и индуктивных катушек для трансформаторов, электрических машин и электромагнитов.

Алюминий занимает третье место по электропроводности. Алюминий в отличие от меди обладает меньшей гибкостью (ломается при частых изгибах), но обладает меньшей плотностью. Алюминий применяется для уменьшения веса индуктивных катушек в трансформаторах и в электрических машинах, также из него изготавливают провода, не предназначенные для работы на частый изгиб.

Золото, так же как и серебро является драгоценным металлом и занимает четвертое место по электропроводности. Золото обладает отличной пластичностью. Из 1 г золота можно получить нить длиной до 3 км или лист площадью до 50 м². Из золота изготавливают тонкие переключатели в устройствах, где требуется экономия пространства (микросхемы) и светодиодах.

Металлы с высоким удельным сопротивлением. К этим материалам относятся сплавы металлов. При сплавлении двух и более металлов образуется сложная структура, в результате электропроводность уменьшается.

Нихром, фехраль и манганин обладают высокой жаростойкостью и удельным электрическим сопротивлением. Изготавливают нагревательные элементы электрических печей и приборов, а также изготавливают эталонные резисторы.

Неметаллические проводники представлены графитсодержащими материалами. Сам по себе графит представляет собой твердую смазку и применяется для изготовления скользящих контактов в электродвигателях, автотрансформаторах и переключателях. Для повышения износостойкости в графит добавляют порошки меди и свинца.

Диэлектрики – это материалы, которые не обладают электропроводностью, так как не содержат свободных носителей заряда.

Воздух является газообразным диэлектриком и применяется в качестве изоляционного материала между проводами в линиях электропередач и в качестве охлаждающей среды в трансформаторах малой мощности.

Трансформаторное масло изготавливается из нефтепродуктов и является жидким диэлектриком. Трансформаторное масло применяется для охлаждения трансформаторов большой мощности, в высокоамперных переключателях – для гашения электрической дуги, возникающей между контактами в момент их размыкания.

Гетинакс слоистый пластик на основе бумаги и синтетических смол. Гетинакс применяется для изготовления монтажных плат в низковольтных электрических цепях.

Лак применяется для защиты монтажных плат от статического электричества, для изоляции проводов в индуктивных элементах.

Стекло и керамика применяются для изготовления конденсаторов и изоляторов, которые отделяют электрические провода от опор линий электропередач.

Слюда применяется для изготовления слюдяных конденсаторов.

Магнитные свойства материалов находят широкое применение в электротехнике, но при этом каждое из них ведет себя по-разному при воздействии на него магнитного поля (см. рис. 1.10).

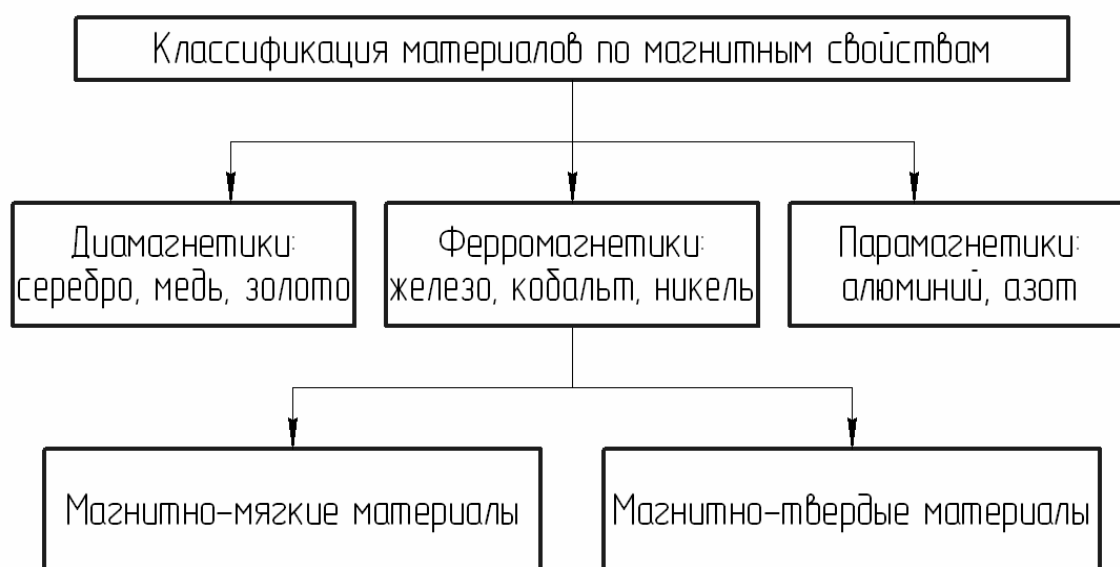


Рисунок 1.10 – Классификация материалов по магнитным свойствам

Диамагнетики – это материалы, намагничивающиеся навстречу направлению внешнего магнитного поля (немагнитные материалы). В отсутствие внешнего магнитного поля диамагнетик немагнитен. К диамагнетикам относятся: серебро, медь, золото, вода, стекло, кварц, графит.

Парамагнетики – это материалы, намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению внешнего магнитного поля, но обладающие слабыми магнитными свойствами. В отсутствие внешнего магнитного поля парамагнетик немагнитен. К диамагнетикам относятся: алюминий, азот, кислород, вольфрам, платина.

Ферромагнетики – это материалы, намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению внешнего магнитного поля и обладающие сильными магнитными свойствами. Ферромагнетики сохраняют намагниченность после снятия внешнего магнитного поля. Ферромагнетики способны усиливать воздействующее на них магнитное поле. К

ферромагнетикам относятся: железо, кобальт, никель. Ферромагнитные материалы делятся на две группы: магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы.

Магнитно-мягкие материалы – это ферромагнитные материалы, которые остаются слабо намагниченными после снятия внешнего магнитного поля. К диамагнетикам относятся: низкоуглеродистая сталь, чугун и электротехническая сталь. Свойство магнитно-мягких материалов сильно намагничиваться и быстро размагничиваться находит широкое применение в электрических машинах.

Электротехническая сталь способна быстро перемагничиваться, при изменении направления действия магнитного поля. Такая сталь применяется в цепях переменного тока, где возникает переменное магнитное поле.

Низкоуглеродистая сталь и чугун находят свое применение в цепях постоянного тока, где возникает постоянное магнитное поле.

Магнитно-твердые материалы – это ферромагнитные материалы, которые сохраняют намагниченность после снятия внешнего магнитного поля. К магнитно-твердым материалам относятся порошковые сплавы Fe-Ni-Al. Из этих сплавов изготовляют постоянные магниты, которые применяются в двигателях постоянного тока и генераторах переменного тока.

Ферромагнитные материалы не всегда могут сохранять свои магнитные свойства. Это явление открыл французский физик Пьер Кюри.

Точка Кюри – это температура, выше, которой ферромагнитный материал теряет способность намагничиваться. После остывания ферромагнитный материал возвращает себе магнитные свойства.

1.7 Буквенно-цифровое обозначение

Условные буквенно-цифровые обозначения предназначены:

- для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах, об устройствах и о функциональных группах (далее части объекта) и документации на объект;
- для ссылок на соответствующие части объекта в текстовых документах;
- для нанесения непосредственно на объект, если это предусмотрено в его конструкции.

Применение условных буквенно-цифровых обозначений в документах устанавливается правилами выполнения соответствующих документов (схем, чертежей, текстовых документов и т. д.).

В таблице 1.1 приведены буквенные коды наиболее распространенных электрических элементов, встречающихся на электрических схемах.

Таблица 1.1 – Буквенные коды наиболее распространенных элементов

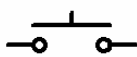
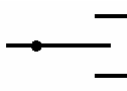
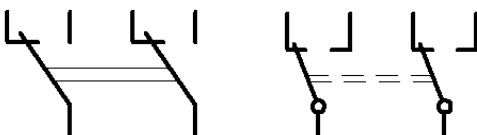
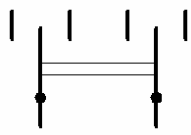
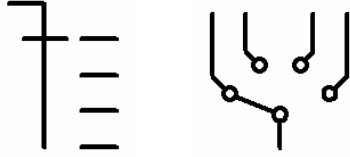
Первая буква кода	Группа видов элементов
A	Устройства (усилители, приборы телеуправления, лазеры)
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме источников тока) или наоборот аналоговые или многоразрядные преобразователи или датчики для указания или измерения
C	Конденсаторы
D	Схемы интегральные, микросборки
E	Элементы разные
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные
G	Генераторы, источники питания
H	Устройства индикационные и сигнальные
K	Реле
L	Катушки индуктивности
M	Двигатели
P	Приборы, измерительное оборудование
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях
R	Резисторы
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных
T	Трансформаторы
U	Преобразователи электрических величин в электрические
V	Приборы электровакуумные, полупроводниковые
W	Линии и элементы сверхвысокой частоты, антенны
X	Соединения контактные
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом
Z	Кварцевые фильтры

1.8 Механические переключатели

Коммутация в электрических цепях является неотъемлемой частью. И в зависимости от условий применения могут иметь разнообразную форму и рассчитываться на определенную величину силы тока и напряжения. По способу работы переключатели могут быть поворотными, рычажными, нажимными.

Графическое изображение некоторых из наиболее часто используемых видов переключателей, применяемых в цепях управления, представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Переключатели

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Кнопка однополюсного замыкания	SB	
Кнопка однополюсного размыкания		
Переключатели (тумблеры) однополюсные	SA	
Переключатели (тумблеры) однополюсные двухпозиционные		
Переключатели (тумблеры) однополюсные трехпозиционные с нейтральным положением		
Переключатели (тумблеры) двухполюсные двухпозиционные		
Переключатели (тумблеры) двухполюсные трехпозиционные с нейтральным положением		
Переключатели многопозиционные		

1.9 Контрольные вопросы

- 1) В чем отличие между электрической цепью и электрической схемой
- 2) Как классифицируются электрические элементы
- 3) Какие материалы применяются для изготовления резисторов и нагревательных элементов
- 4) На какие группы делятся проводниковые материалы
- 5) На какие группы делятся диэлектрические материалы
- 6) Для чего применяется буквенно-цифровая маркировка элементов
- 7) В чем отличие переменного тока от постоянного тока?
- 8) Какие элементы относятся к активным элементам?
- 9) Какие элементы относятся к пассивным элементам?

- 10) Как делятся материалы по магнитным свойствам?
- 11) Что изготавливают из магнитотвердых материалов?
- 12) Какие материалы относятся к ферромагнетикам?
- 13) Что такое вольт-амперная характеристика?
- 14) Какими основными электрическими параметрами обладает электрическая цепь?
- 15) В каком случае ферромагнитный материал может потерять магнитные свойства?

2 ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1 Резистивные элементы

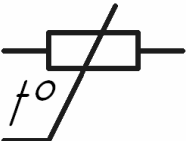
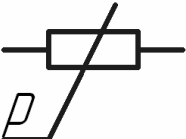
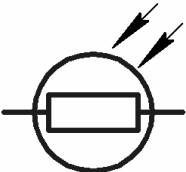
2.1.1 Общие сведения

К резистивным элементам можно отнести резисторы, провода и электрические лампы.

Резистор – электронный компонент, предназначенный для регулировки и ограничения силы тока и напряжения. Резисторы являются самыми распространенными электронными компонентами на электрических схемах. В зависимости от условий применения и габаритов схемы резисторы могут иметь разнообразную форму и размеры. Резисторы могут быть в виде отдельных элементов и входить в состав микросхем и резисторных сборок.

Виды резисторов и их условные графические изображения на электрических схемах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Резисторы

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Резистор (постоянный)	R	
Резистор переменный	R	
Резистор подстроечный	R	
Терморезистор	R, BK	
Тензорезистор	R, BP	
Фоторезистор	R, BL	
Электрическая лампа	HL	

Переменный резистор – это резистор, который обладает переменным сопротивлением и предназначен для многократного изменения своего сопротивления. Переменный резистор имеет 3 контакта, два из которых связаны с резистивным слоем, а третий контактирует с резистивным слоем через скользящий контакт, который соединяется с рукояткой.

Подстроечный резистор – это резистор, который обладает переменным сопротивлением и предназначен для единичного изменения своего сопротивления. Подстроечный резистор имеет три контакта, два из которых связаны с резистивным слоем, а третий соединяется со скользящим контактом.

Терморезистор – это резистор, обладающий свойством существенно изменять своё электрическое сопротивление при изменении температуры. Данные резисторы находят применение как датчики температуры.

Тензорезистор – это резистор, изменяющий свое сопротивление при деформации (сжатии или растяжении). Тензорезисторы применяются, как датчики деформации, поскольку способны реагировать даже на незначительные нагрузки, которые незаметны глазу человека.

Фоторезистор – это полупроводниковый прибор способный изменять свое внутреннее сопротивление под воздействием электромагнитного излучения.

К резистивным элементам можно также отнести провода, на практике при расчетах их сопротивлением пренебрегают в силу их небольшого сопротивления. В таблице 2.2 представлены способы обозначения проводов на схемах. На схемах провода обозначают основными линиями, располагающимися под прямым углом друг к другу. В некоторых случаях допускается располагать провода под углом 45° .

Таблица 2.2 – Графическое изображение проводов на схемах

Наименование	Условное графическое изображение на электрических схемах
Соединение проводов неразъемное (в месте пересечения ставится жирная точка)	
Соединение проводов разъемное	
Скрещивающиеся, но не пересекающиеся провода (в месте пересечения ничего не ставится)	
Заземление	

Соединение на корпус	
----------------------	---



2.1.2 Параметры резистивных элементов

Каждый резистор обладает двумя основными постоянными электрическими параметрами:

Номинальное сопротивление $R_{\text{НОМ}}$ – это постоянное значение сопротивления резистора, которое задается резистору при его изготовлении.

Сопротивление резистивного слоя зависит от материала резистивного слоя, его длины и площади поперечного сечения:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s}, \text{ Ом}$$

где: ρ – удельное сопротивление материала резистивного слоя, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$; l – длина резистивного слоя, м; s – площадь поперечного сечения резистивного слоя, м.

Величина отношения тока, протекающего через резистор, к напряжению, приложенному к его контактам, является величиной постоянной и определяется следующей формулой, которая носит название «закон Ома»:

$$R = \frac{U}{I} = \text{const}, \text{ Ом}$$

где: I – сила тока, протекающего через резистор, А; $U = \varphi_A - \varphi_B$ – электрическое напряжение, приложенное к резистору, В; φ_A, φ_B – электрические потенциалы, приложенные к противоположным контактам резистора, В.

Номинальная мощность $P_{\text{НОМ}}$ – это максимальное значение мощности, которую может потреблять резистор. Превышение данного значения приведет к нагреву структуры резистора и постепенному выходу его из строя.

Когда через резистор протекает ток, то он потребляет некоторую мощность. Эту мощность можно определить по следующей формуле:

$$P = UI, \text{ Вт}$$

Резисторы могут иметь разнообразные конструктивные исполнения, одно из которых представлено на рисунке 2.1.

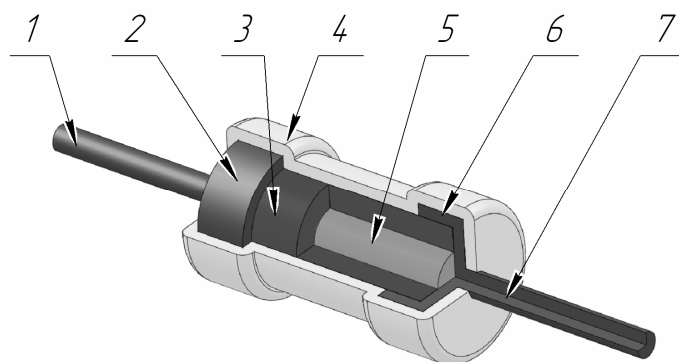


Рисунок 2.1 – Конструкция постоянного резистора: 1, 7 – выводы резистора; 2, 6 – обжимные контакты; 3 – резистивный слой; 4 – диэлектрическая защитная оболочка; 5 – керамическое основание.

Для увеличения или уменьшения сопротивления резисторы соединяют в резисторные сборки, сочетая при этом последовательное (см. рис. 2.2а) или параллельное (см. рис. 2.2б) соединение резисторов. Если сочетаются параллельное и последовательное соединение резисторов, то такое соединение называется смешанным.

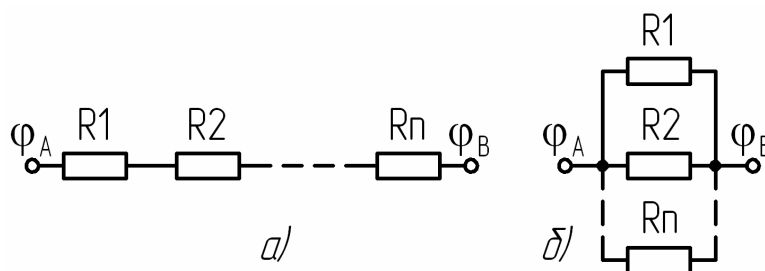


Рисунок 2.2 – Соединение резисторов

При последовательном соединении резисторов общее сопротивление резисторной сборки увеличивается и определяется по формуле:

$$R_{AB} = R_{R1} + R_{R2} + \dots + R_{Rn}$$

Где: R_{R1}, R_{R2} – сопротивление резисторов, Ом; R_{Rn} – сопротивление n-ого резистора, Ом.

При последовательном соединении резисторов сила тока, протекающая через все резисторы, будет одинаковой:

$$I_{AB} = I_{R1} = I_{R2} = \dots = I_{Rn}$$

Где: I_{R1}, I_{R2} – сила тока, протекающая через резисторы, А; I_{Rn} – сила тока, протекающая через n-ный резистор, А.

При последовательном соединении резисторов общее напряжение резисторной сборки складывается из падений напряжения на каждом резисторе:

$$U_{AB} = U_{R1} + U_{R2} + \dots + U_{Rn}$$

Где: $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ – общее напряжение конденсаторной батареи, В; U_{R1} , U_{R2} – падение напряжения на резисторах, В; U_{Rn} – падение напряжения на n-ном резисторе, В.

При параллельном соединении резисторов общее сопротивление резисторной сборки уменьшается и определяется по формуле:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_{R1}} + \frac{1}{R_{R2}} + \dots + \frac{1}{R_{Rn}}$$

При параллельном соединении резисторов общая сила тока определяется как сумма токов на каждом резисторе:

$$I_{AB} = I_{R1} + I_{R2} + \dots + I_{Rn}$$

При параллельном соединении резисторов падение напряжения на резисторах будут равны питающему напряжению:

$$U_{AB} = U_{R1} = U_{R2} = \dots = U_{Rn}$$

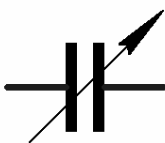
2.2 Ёмкостные элементы

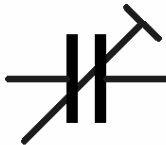
2.2.1 Основные понятия

Конденсатор – электронный компонент, предназначенный для накопления электрического заряда. Конденсаторы являются вторыми по распространенности пассивными электронными компонентами на электрических схемах. Конденсаторы в силу своих физических параметров не могут принимать любые размеры, поэтому на схемах занимают столько места, сколько им необходимо. Конденсаторы обычно изготавливаются в виде отдельных элементов, но так же могут входить в состав микросхем.

Виды конденсаторов и их условные графические изображения на электрических схемах представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – конденсаторы

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Конденсатор неполярный (постоянный)	С	
Конденсатор полярный (постоянный)		
Конденсатор переменный		

Конденсатор подстроечный		
--------------------------	--	---

Конденсатор неполярный – это конденсатор, который обладает постоянной емкостью, и его работа не зависит от полярности приложенного напряжения. Неполярные конденсаторы обычно изготавливаются с керамическим диэлектриком. Применяются для сглаживания пульсаций тока в сети переменного тока. Обладают небольшой ёмкостью (нФ).

Конденсатор полярный (электролитический) – это конденсаторы обладающий постоянной ёмкостью и строго требующий соблюдения полярности приложенного напряжения. Изменение полярности приводит к мгновенному пробое диэлектрика. На корпусе имеют специальные метки.

Конденсатор переменный – это конденсатор, обладающий непостоянной ёмкостью, предназначен для многократного изменения своей емкости. Переменные конденсаторы обычно имеют воздушный диэлектрик между контактами.

Конденсатор подстроечный – это конденсатор, обладающий непостоянной ёмкостью, и предназначенный для единичных изменений своей ёмкости в процессе настройки радиоаппаратуры.

Условная структура конденсатора представлена на рисунке 2.3.

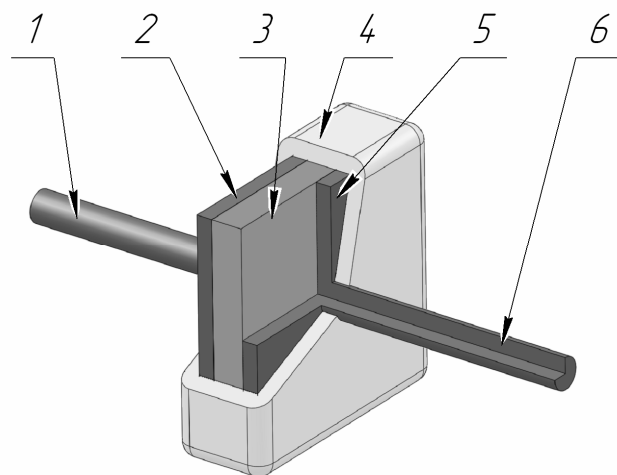


Рисунок 2.3 – Электрический конденсатор: 1, 6 – электрические контакты; 2, 4 – обкладки (пластины); 3 – диэлектрик; 5 – защитное покрытие

2.2.2 Параметры ёмкостных элементов

К основным параметрам конденсатора можно отнести номинальную ёмкость и пробивное напряжение.

Номинальная емкость $C_{ном}$ – это постоянное значение ёмкости конденсатора, которое задается при его изготовлении.

Ёмкость конденсатора зависит от материала диэлектрика, площади пластин и расстояний между ними:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}, \text{ Ф}$$

где: ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Кл²/(Н·м²); S – площадь одной пластины, м²; d – расстояние между пластинами конденсатора, м.

Пробивное напряжение (напряжение пробоя) – это максимальное значение напряжения, которое может быть подано на контакты конденсатора. Данное значение указывается на корпусе конденсатора.

Электрическая ёмкость является постоянной величиной, которую можно выразить следующим выражением:

$$C = \frac{q}{U} = \text{const}$$

где: q – электрический заряд, который формируется на конденсаторе при подаче на него напряжения, Кл; $U = \varphi_A - \varphi_B$ – электрическое напряжение, приложенное к конденсатору, В; φ_A, φ_B – электрические потенциалы, приложенные к противоположным пластинам конденсатора, В.

Если на пластинах конденсатора формируется электрический заряд, то он обладает энергией, которую можно определить по следующей формуле:

$$W = \frac{qU}{2}, \text{ Дж}$$

Для увеличения или уменьшения электрической ёмкости конденсаторы соединяют в конденсаторные батареи, сочетая при этом последовательное (см. рис. 2.4а) или параллельное (см. рис. 2.4б) соединение конденсаторов. Если сочетаются параллельное и последовательное соединение конденсаторов, то такое соединение называется смешанным.

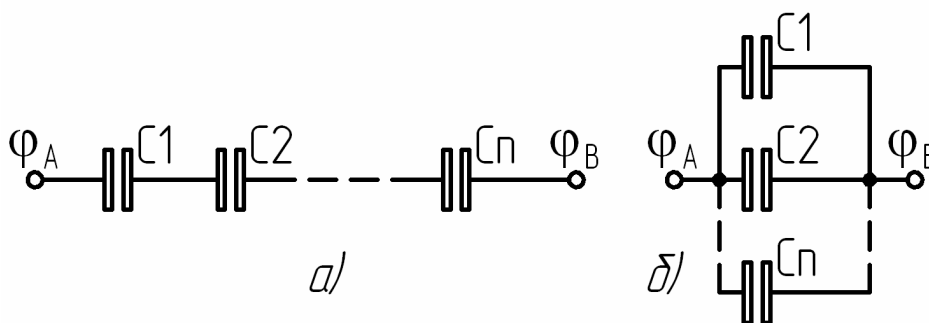


Рисунок 2.4 – Соединение конденсаторов

При последовательном соединении конденсаторов общая ёмкость конденсаторной батареи уменьшается и определяется по следующей формуле:

$$\frac{1}{C_{AB}} = \frac{1}{C_{C1}} + \frac{1}{C_{C2}} + \dots + \frac{1}{C_{Cn}}$$

где: C_{C1} , C_{C2} – ёмкость конденсаторов; C_{Cn} – ёмкость n-ого конденсатора, Ф.

При последовательном соединении конденсаторов электрические заряды на всех конденсаторах будут одинаковыми:

$$q_{AB} = q_{C1} = q_{C2} = \dots = q_{Cn}$$

где: q_{C1} , q_{C2} – электрические заряды на конденсаторах, Кл; q_{Cn} – электрический заряд на n-ном конденсаторе, Кл.

При последовательном соединении конденсаторов общее напряжение конденсаторной батареи складывается из падений напряжения на каждом конденсаторе:

$$U_{AB} = U_{C1} + U_{C2} + \dots + U_{Cn}$$

где: $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ – общее напряжение конденсаторной батареи, В; U_{C1} , U_{C2} – падение напряжения на конденсаторах, В; U_{Cn} – падение напряжения на n-ном конденсаторе, В.

При параллельном соединении конденсаторов общая ёмкость конденсаторной батареи увеличивается и определяется по следующей формуле:

$$C_{AB} = C_{C1} + C_{C2} + \dots + C_{Cn}$$

При параллельном соединении конденсаторов общий электрический заряд определяется как сумма зарядов на каждом конденсаторе:

$$q_{AB} = q_{C1} + q_{C2} + \dots + q_{Cn}$$

При параллельном соединении конденсаторов напряжение конденсаторов будут равны питающему напряжению:

$$U_{AB} = U_{C1} = U_{C2} = \dots = U_{Cn}$$

2.2.3 Принцип работы конденсатора

На рисунке 2.5 представлена работа конденсатора в цепи постоянного тока. Рисунок разбит на четыре взаимосвязанные временные цепочки, образующие замкнутый цикл. На схеме представлены следующие элементы: GB1 – аккумуляторная батарея, как источник постоянного тока; HL1 – индикаторная лампа, как потребитель электроэнергии; SA1 – переключатель на два положения; C1 – конденсатор.

На рисунке 2.5а представлен момент когда цепь между источником тока GB1 и конденсатором C1 разомкнута так как переключатель SA1 находится в крайнем «правом» положении, следовательно, ток в этой цепи не протекает. Лампа HL1 находится в выключенном состоянии.

На рисунке 2.5б переключатель SA1 переводится в крайнее «левое» положение и цепь замыкается. Это приводит к появлению кратковременного тока, который обусловлен движением положительных $q+$ и отрицательных $q-$ зарядов от источника тока GB1 в сторону конденсатора C1. На одной обкладке

формируется положительный заряд, а на другой – отрицательный. Между контактами конденсатора появится разность потенциалов. Конденсатор мгновенно заряжается. Как только конденсатор зарядится, движение зарядов прекратится. Лампа *HL1* – находится в выключенном состоянии, так как цепь разомкнута.

На рисунке 2.5в переключатель *SA1* возвращается в крайнее «правое» положение. Цепь между конденсатором *C1* и источником тока *GB1* размыкается, а цепь между лампой *HL1* и конденсатором *C1* замыкается. Конденсатор переходит в режим кратковременного источника тока, так как между его контактами возникнет разность потенциалов. В цепи появляется ток I_1 , который будет протекать через лампу *HL1*, лампа загорится.

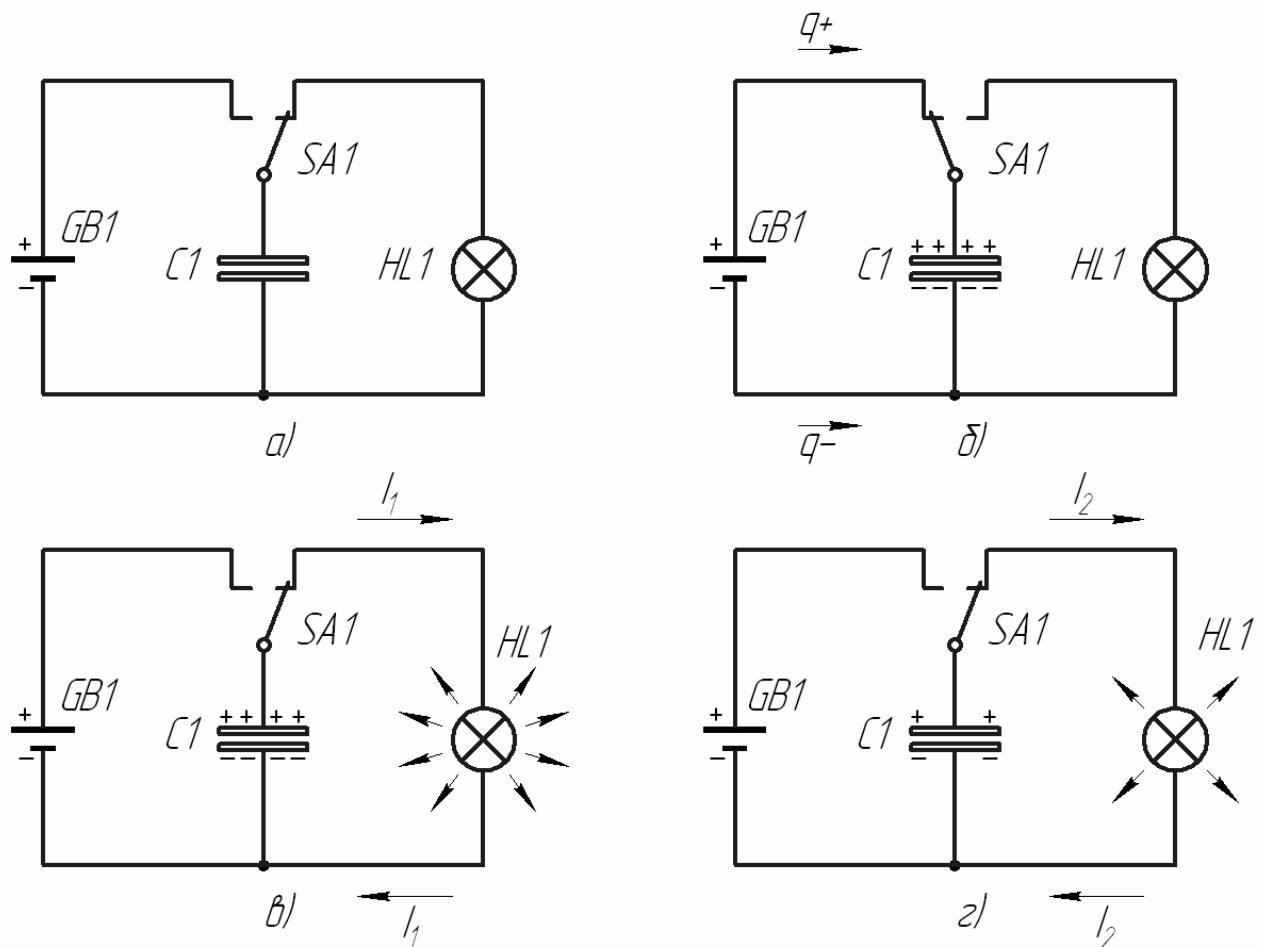


Рисунок 2.5 – Принцип действия конденсатора

Заряд, накопленный конденсатором, начнет постепенно уменьшаться, поскольку положительный заряд с одной обкладки устремится на обкладку, где сформировался отрицательный заряд и наоборот. Величина заряда постепенно начнет выравниваться, а вслед за ним уменьшится разность потенциалов (см. рисунок 2.5г). Яркость свечения лампы начнет медленно падать. По цепи будет протекать ток I_1 .

Через некоторое время лампа выключится, так как конденсатор полностью разрядится и между его контактами исчезнет разность потенциалов. Конденсатор будет готов к повторению цикла (см. рисунок 2.5а). Время нахождения лампы *HL1* в рабочем состоянии зависит от емкости конденсатора *C1* и разности потенциалов источника тока *GB1*.

2.3 Индуктивные элементы

2.3.1 Основные понятия

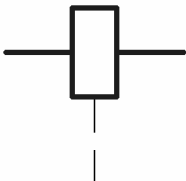
Работа индуктивных элементов связана с взаимодействием с магнитным полем.

Магнитное поле – силовое поле, возникающее вокруг проводника, по которому протекает электрический ток.

Магнитное поле может создаваться самим индуктивным элементом и действовать на внешнюю среду, так и создаваться вне элемента и воздействовать на сам индуктивный элемент.

Индуктивные элементы представлены в различных видах, некоторые из них представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Индуктивные элементы

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Индуктивная катушка	L	
Электромагнит	YA	
Реле	K1	
Контакты реле	K1.1	
Трансформаторы	См. далее	
Машины постоянного и переменного тока	См. далее	

Реле – это электрический элемент, в котором управление контактами переключателя осуществляется электромагнитом.

Соленоид – это катушка индуктивности обычно в виде намотанного на цилиндрическую поверхность изолированного проводника, по которому протекает электрический ток (см. рис. 2.6а).

Электромагнит – электротехническое устройство, состоящее обычно из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника, который намагничивается при прохождении по обмотке электрического тока (см. рис. 2.6б).

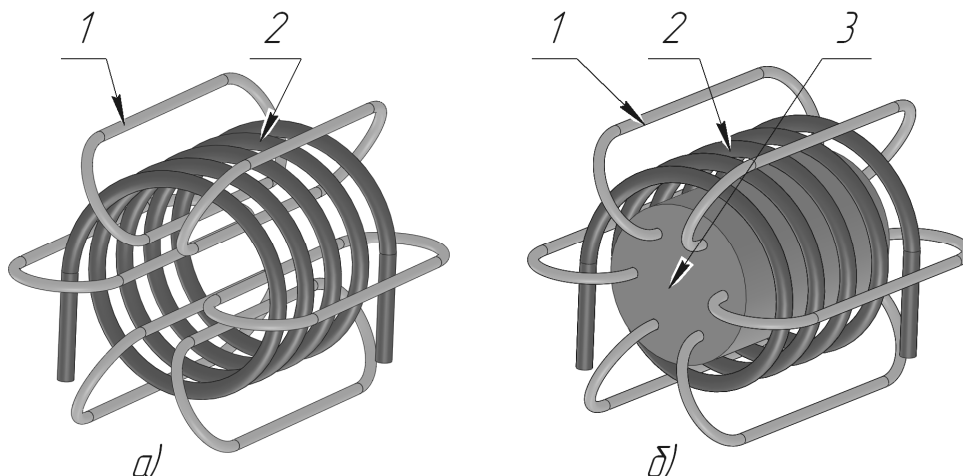


Рисунок 2.6 – Индуктивные элементы: 1 – магнитное поле; 2 – индуктивная катушка; 3 – ферромагнитный сердечник

2.3.2 Работа и основные параметры индуктивных элементов

Работа индуктивной катушки показана на рисунке 2.7. Подключение к контактам индуктивной катушки положительного и отрицательного потенциала, приведет к появлению тока. При прохождении тока через витки катушки будет создаваться магнитное поле. Магнитное поле будет создавать магнитный поток, который с одной стороны будет входить в катушку, а из другой выходить. Там где магнитный поток будет входить в катушку, возникнет южный полюс, а там где будет выходить, возникнет северный полюс. При этом плотность магнитного потока внутри катушки будет выше, чем снаружи. Так как снаружи она будет рассеиваться, а внутри будет концентрироваться между витками.

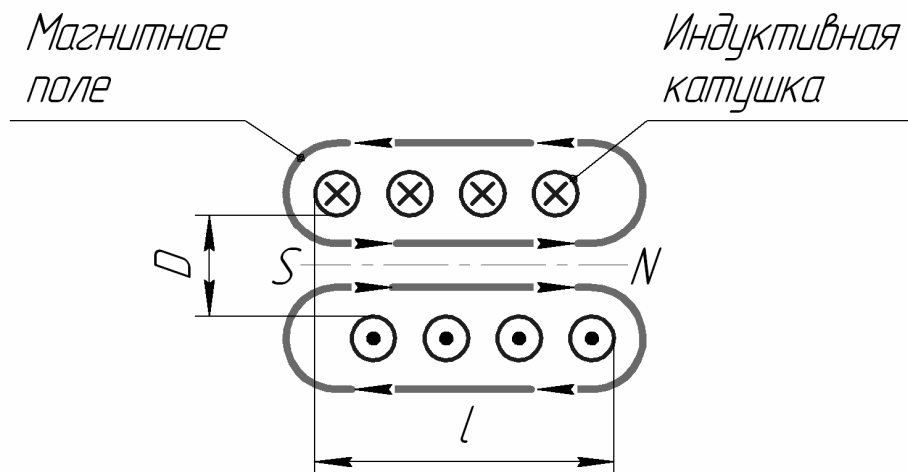


Рисунок 2.7 – Магнитные полюса индуктивной катушки

Для определения индуктивности индуктивной катушки необходимо знать следующие параметры: число витков катушки, длину и диаметр катушки, магнитную проницаемость вещества расположенного внутри катушки.

$$L = \frac{\mu \cdot w \cdot S}{l}, \text{ Гн}$$

где: μ - магнитная проницаемость вещества, Гн/м; w - число витков катушки;

$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ - площадь поперечного сечения катушки, м²; D - диаметр катушки, м;

l - длина катушки, м.

Определение магнитного потока, создаваемого магнитным полем:

$$\Phi = L \cdot I, \text{ Вб}$$

где: I - сила тока, протекающего по катушке, А.

Индуктивные элементы, по сравнению с конденсаторами и резисторами, не так широко используются, но способность взаимодействовать с магнитным полем оставляют их незаменимыми в некоторых областях техники.

2.4 Режимы работы электрической цепи

Различают три режима работы электрической цепи: режим короткого замыкания, режим холостого хода и номинальный режим.

Номинальный режим работы электрической цепи является оптимальным режимом, так как по цепи протекают согласованные значения тока. Значения тока не превышают расчетные значения и не приводят к перегреву сопрягаемых элементов.

Режим короткого замыкания является аварийным режимом. Этот режим проявляется в том случае, когда между двумя точками цепи с разными потенциалами попадает перемычка с практически нулевым сопротивлением. Это приводит к возрастанию тока, при этом его значение будет превышать расчетное в несколько раз. Увеличение тока приводит к неправильному

распределению тока в цепи, вследствие чего происходит перегрев элементов. Перегрев элементов приводит их разрушению.

Режим холостого проявляется в том случае, когда к источнику тока не подключена нагрузка, следовательно, между контактами источника электроэнергии не протекает ток. Этот режим применяется для определения напряжения между контактами источника тока.

2.5 Контрольные вопросы

- 1) Что такое резистор?
- 2) Какие существуют виды резисторов?
- 3) Какие элементы относятся к резистивным материалам?
- 4) Что такое конденсатор?
- 5) Какие существуют виды конденсаторов?
- 6) Чем отличается резистор от конденсатора?
- 7) От каких параметров зависит сопротивление резистора?
- 8) От каких параметров зависит емкость конденсатора?
- 9) Что такое соленоид?
- 10) Что такое электромагнит?
- 11) Чем отличается соленоид от электромагнита?
- 12) Как на электрических схемах обозначаются резисторы?
- 13) Как на электрических схемах обозначаются емкостные элементы?
- 14) Чем отличается подстроечный резистор от переменного резистора?

3 ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

3.1 Общие сведения

Измерение – операция, посредством которой определяется отношение одной физической величины к другой однородной физической величине принимаемой за единицу.

Измерения бывают двух видов: прямые и косвенные.

Прямое измерение – это вид измерения, при котором определение требуемой физической величины осуществляется непосредственно по показаниям электроизмерительных приборов.

Косвенное измерение – это вид измерения, при котором определение требуемой физической величины осуществляется по результатам математических вычислений. В качестве источника данных для косвенных измерений могут служить показания приборов. Косвенное измерение так же применяется в тех случаях, когда физическую величину невозможно определить прямым способом (масса планеты, расстояние от центра Земли до центра Солнца).

При проведении измерений могут возникать различного рода погрешности, которые отражаются на результатах измерений. Различают следующие виды погрешностей: абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность – это модуль разности действительного значения физической величины и значения физической величины полученной при измерениях.

$$\Delta = |A_d - A_{изм}|$$

где: A_d – действительное значение физической величины; $A_{изм}$ – измеренное значение физической величины

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к действительному значению физической величины выраженное в процентах.

$$\delta = \frac{\Delta}{A_d} \times 100\%$$

Причинами погрешностей являются различные факторы: относительная влажность воздуха, температура, физический износ измерительного прибора, человеческий фактор и другие.

Классификация измерительных приборов на производстве: рабочие и эталонные.

Рабочие приборы – это приборы непосредственно связанные с измерением физических величин. Рабочие приборы выполняют свои функции 24 часа в день в различных погодных условиях. В процессе эксплуатации механизмы рабочих приборов изнашиваются.

Эталонные приборы – это приборы, предназначенные для проверки правильности показаний рабочих приборов и градуировки новых приборов. Эталонные приборы требуют специальных климатических условий хранения (температура и влажность).

Градуировка – операция, при помощи которой измерительный прибор снабжают шкалой. Градуировка производится с помощью более точных приборов, чем градуируемый прибор.

Передняя панель электроизмерительного прибора содержит следующие компоненты, представленные на рис. 3.1.

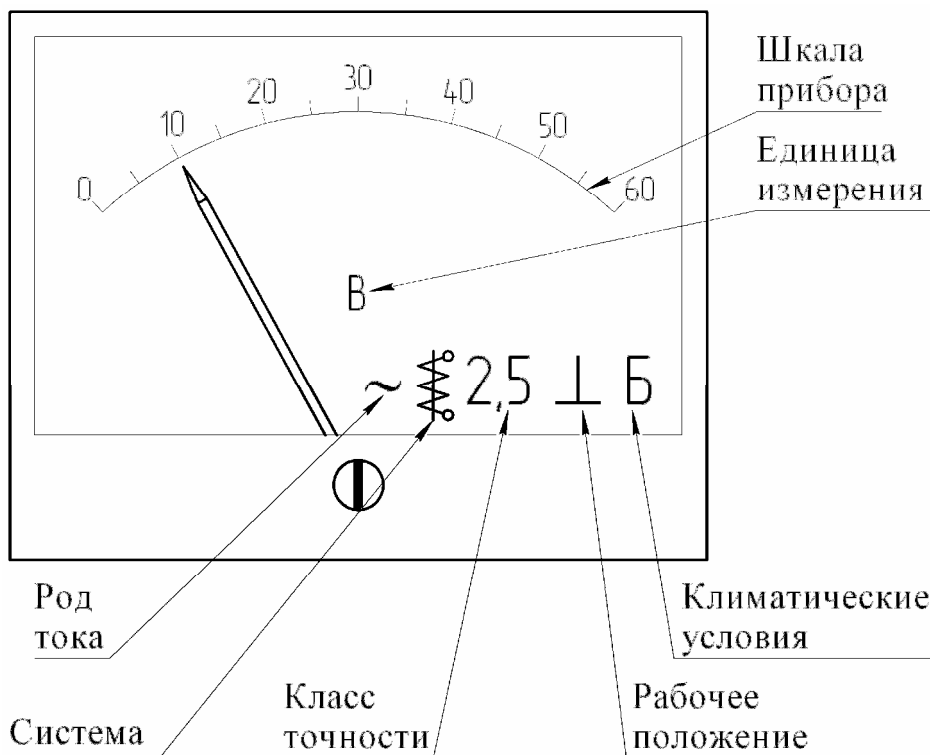


Рисунок 3.1 - Передняя панель электроизмерительного прибора

Классификация приборов по роду тока (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Условный значок рода тока

Условный значок	Род тока
—	Постоянный
~	Переменный
≡	Трёхфазный переменный
⎓	Постоянный и переменный

Классификация приборов по измерительному механизму (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Условный значок измерительного механизма

Условный значок	Измерительный механизм (система)
	Электродинамическая
	Магнитоэлектрическая
	Электромагнитная

Классификация приборов по классу точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Класс точности отображает приведенную погрешность прибора.

Классификация по рабочему положению прибора (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Условный значок рабочего положения прибора

Условный значок	Рабочее положение
	Горизонтально
	Вертикально
	Под углом

Классификация по климатическим условиям: А – для закрытых отапливаемых помещений; Б – для закрытых неотапливаемых помещений; В – для полевых и морских условий

Цена деления – значение измеряемой величины, вызывающее отклонение показывающего устройства на одно деление шкалы.

$$Ц = \frac{A_{НОМ}}{n}$$

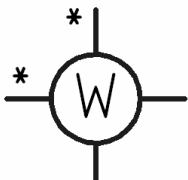
где: $A_{НОМ}$ – наибольшая величина, которую может измерить прибор; n – число делений шкалы.

Помимо стрелочных измерительных приборов существуют цифровые измерительные приборы, где измеряемый параметр переводится в цифровой сигнал. По сравнению со стрелочными приборами, цифровые приборы дают более точное значение измеряемой величины, измеряют в различных пределах и бывают многозадачными (могут измерять несколько параметров). Стрелочные или аналоговые приборы имеют более простую и более надежную конструкцию, вследствие чего имеют обычно меньшую стоимость.

3.2 Виды измерительных приборов

В настоящее время широкое распространение получили такие измерительные приборы как: амперметры, вольтметры и ваттметры. Так как они определяют основные параметры электрической цепи. Графическое изображение измерительных приборов представлено в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Измерительные приборы

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Амперметр	РА	
Вольтметр	PV	
Ваттметр	PW	

Амперметр – это электроизмерительный прибор, который применяется для измерения величины силы тока, протекающего по участку электрической цепи. Для определения силы тока I_N протекающего через нагрузку R_N , амперметр $PA1$ необходимо подключить последовательно с нагрузкой (см. рис. 3.2а). В этом случае через амперметр $PA1$ будет протекать такая же сила тока, что и через нагрузку $I_{PA1} = I_N$. Последовательное соединение приведет к увеличению общего сопротивления цепи, так как амперметр обладает своим внутренним сопротивлением R_{PA1} . Появление в цепи еще одного сопротивления приведет к появлению точки С, потенциал которой φ_C будет отличаться от потенциалов φ_A и φ_B . Это значит что напряжение поступающее на нагрузку $U_R = \varphi_C - \varphi_B$ уменьшится, следовательно, изменится сила тока I_N . Чтобы уменьшить влияние измерительного прибора на распределение тока в цепи, сопротивление амперметра стараются делать незначительным $R_{PA1} \approx 1 \text{ Ом}$. *Сопротивление амперметра очень маленькое, следовательно, его запрещается подключать к источнику тока без последовательной нагрузки, так как может произойти короткое замыкание.* Короткое замыкание выведет из строя электроизмерительный прибор.

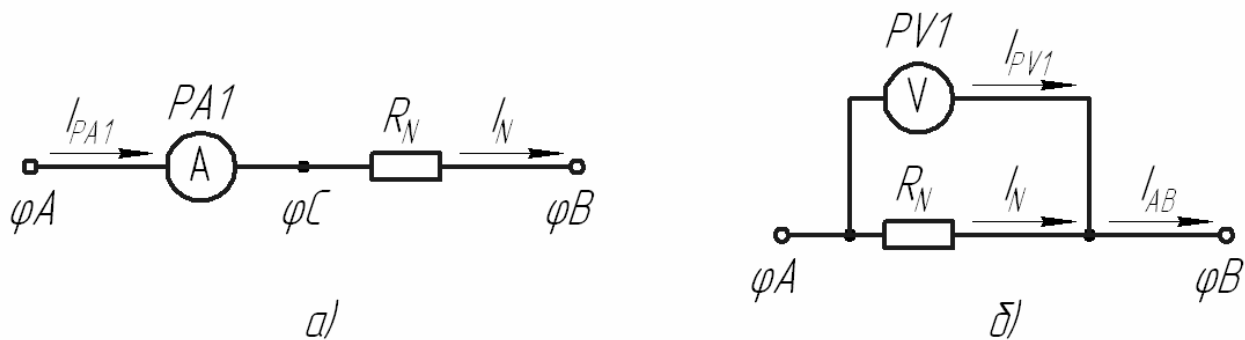


Рисунок 3.2 – подключение электроизмерительных приборов

Вольтметр – это электроизмерительный прибор, который применяется для измерения величины напряжения или разности потенциалов на некотором участке электрической цепи. Для определения напряжения на нагрузке R_N , вольтметр $PV1$ необходимо подключать параллельно (см. рис. 3.2б). При этом вольтметр $PV1$ должен быть подключен к тем же точкам А и В, что и контакты нагрузки R_N . Вольтметры так же как и амперметры обладают внутренним сопротивлением. Появление в измеряемой цепи еще одного потребителя (вольтметр $PV1$) приведет к уменьшению общего сопротивления цепи между точками А и В. Следовательно, сила тока I_{AB} увеличится. Ток I_{AB} будет складываться из тока нагрузки I_N и тока вольтметра I_{PV1} . Чтобы уменьшить влияние на токовое распределение в цепи, сопротивление вольтметра должно на много превосходить сопротивление нагрузки. Желательно чтобы сопротивление вольтметра было минимум 1000 раз больше чем сопротивление нагрузки.

Ваттметр – это электроизмерительный прибор, который применяется для измерения величины потребляемой мощности участком цепи (см. рис. 3.3а). Ваттметры объединяют в одном корпусе два прибора, поскольку содержат две обмотки. Одна обмотка отвечает за измерение потребляемой силы тока нагрузкой R_N , а вторая за измерение питаемого напряжения. Символ «*» отвечает за начала обмоток каждого параметра.

Для измерения потребляемой мощности нагрузкой R_N можно применять две возможные схемы (см. рис. 3.3б и 3.3в). В первом случае амперметр $PA1$ измеряет ток, протекающий через нагрузку R_N , а вольтметр $PV1$ измеряет напряжение между точками с потенциалами φ_A и φ_B . А во втором случае амперметр $PA1$ измеряет ток, протекающий через нагрузку R_N и вольтметр $PV1$, а вольтметр измеряет напряжение между точками с потенциалами φ_C и φ_B . Показания в одном и другом случае будут немного отличаться.

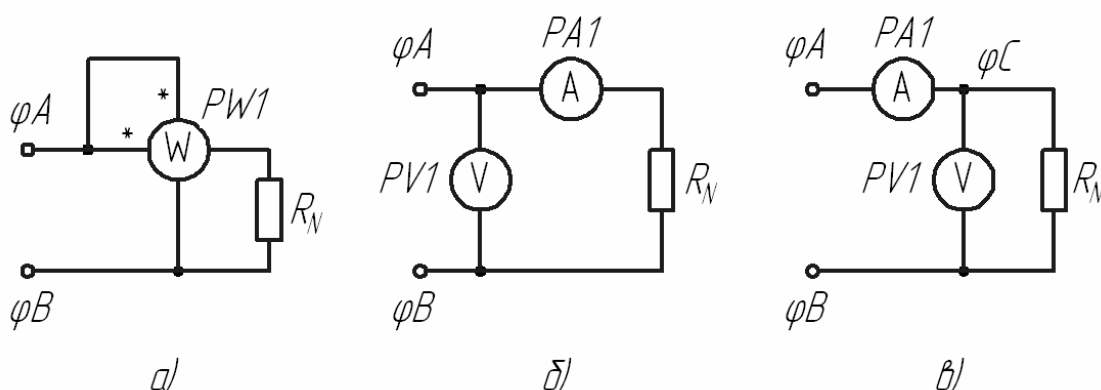


Рисунок 3.3 – Подключение измерительных приборов для определения потребляемой мощности

3.3 Магнитоэлектрическая измерительная система

Измерительные приборы с магнитоэлектрической измерительной системой находят свое применение в цепях постоянного тока. Принцип работы прибора с магнитоэлектрической системой основан на взаимодействии двух магнитных полей (см. рис. 3.4). Одно магнитное поле создается постоянным магнитом 5, а второе поле создается катушкой 8, укрепленной на подвижной рамке 6. Рамка располагается на подвижном валу 7. Так же на вал крепится стрелка 1, механизм настройки 3 и две спиральные пружины 9. Стрелка изготавливается преимущественно из алюминия. На стрелку для балансировки устанавливают грузы 4. Две спиральные пружины 9 имеют двойное предназначение, во-первых, через них на катушку 8 поступает измеряемый ток, во-вторых, они создают момент, который противодействует повороту стрелки. Механизм настройки 3 предназначен для выставления стрелки на «Ноль» на шкале 1 перед началом измерения.

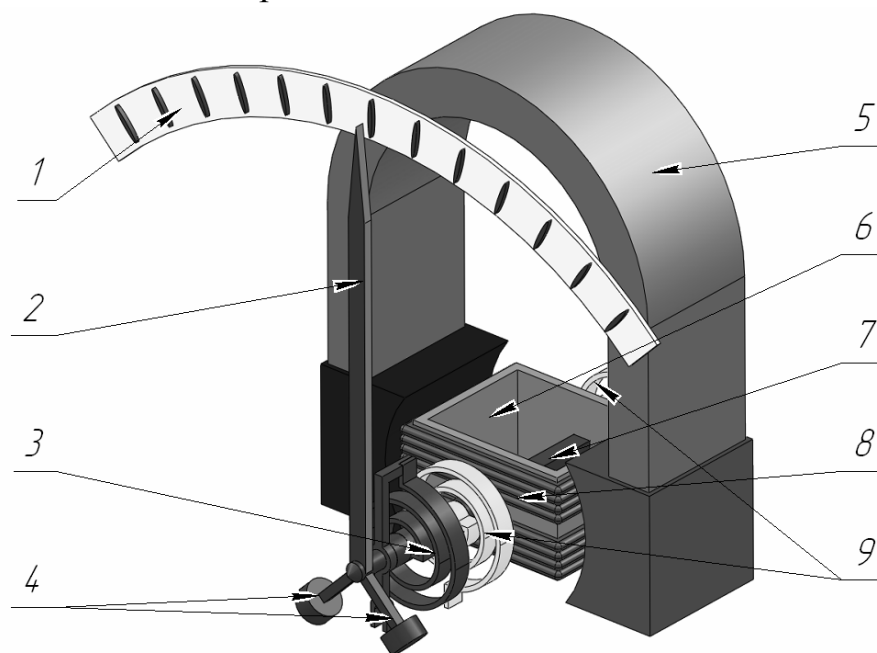


Рисунок 3.4 – Конструкция магнитоэлектрической измерительной системы: 1 – равномерная шкала; 2 – стрелка; 3 – механизм настройки; 4 – противовес; 5 – постоянный магнит; 6 – рамка; 7 – вал (ось); 8 – катушка; 9 – спиральные пружины

Когда на катушку 8 не поступает измеряемый ток, стрелка находится на «нуле». Когда через катушку начинает протекать измеряемый ток, происходит появление магнитного поля катушки. При взаимодействии двух магнитных полей возникает крутящий момент $M_{кр}$, который приводит к повороту стрелки.

$$M_{кр} = K_1 I,$$

где: I – измеряемый ток, протекающий по катушке; K_1 – постоянный коэффициент, зависящий от числа витков катушки, от площади рамки и зазора между магнитом и катушкой.

Спиральные пружины 9 будут создавать момент, противодействующий повороту стрелки $M_{пр}$.

$$M_{пр} = K_2 \alpha,$$

где: α – угол поворота стрелки; K_2 – постоянный коэффициент, зависящий от жесткости спиральных пружин.

Принимая во внимание то, что крутящий момент и момент противодействия равны $M_{кр} = M_{пр}$, то получаем:

$$K_1 I = K_2 \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{K_1}{K_2} I$$

Это означает, что угол поворота стрелки пропорционален измеряемому току, следовательно, данный прибор можно градуировать как амперметр. У прибора будет равномерная шкала с одинаковым расстоянием между делениями.

Применяя закон Ома, получаем:

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I \Rightarrow \alpha = \frac{K_1}{K_2} \times \frac{U}{R_d},$$

где: R_d – сопротивление дополнительной катушки, вносимой в конструкцию прибора.

Поскольку сопротивление дополнительной катушки является величиной постоянной, следовательно, прибор можно градуировать как вольтметр.

К достоинствам магнитоэлектрической системы можно отнести следующее: равномерная шкала, высокая чувствительность и точность, показания прибора не зависят от влияния внешнего магнитного поля. Недостатком является невозможность работы в цепях переменного тока без дополнительных устройств.

При подключении прибора к измеряемой цепи необходимо соблюдать полярность контактов. Неправильное подключение приведет к отклонению стрелки в противоположную сторону. Для того чтобы не перепутать полярность подключения, контакты маркируются знаками «+» и «-». Контакт «+» подключают к положительному потенциалу (или наибольшему), а контакт «-» к отрицательному потенциалу (к наименьшему).

3.4 Электромагнитная измерительная система

Измерительные приборы с электромагнитной измерительной системой находят свое применение преимущественно в цепях переменного тока, реже в цепях постоянного тока. Принцип работы прибора с электромагнитной системой основан на взаимодействии магнитного поля катушки 5 и ферромагнитного сердечника 7 (см. рис. 3.5). Катушка 5 закрепляется в приборе неподвижно. Сердечник крепится на подвижном валу 2, так же на вал крепится стрелка 1, механизм настройки 3, демпфер и спиральная пружина 6. Стрелка изготавливается преимущественно из алюминия. На стрелку для балансировки устанавливают грузы 4. Механизм настройки 3 предназначен для выставления стрелки на «Ноль» на шкале перед началом измерения. Демпфер изготавливается из подвижного штока 8 и неподвижного полого цилиндра 9.

Демпфер – это устройство, предназначенное для гашения колебаний, возникающих при повороте стрелки во время измерений.

Спиральная пружина 6 предназначена для создания момента противодействующего повороту стрелки.

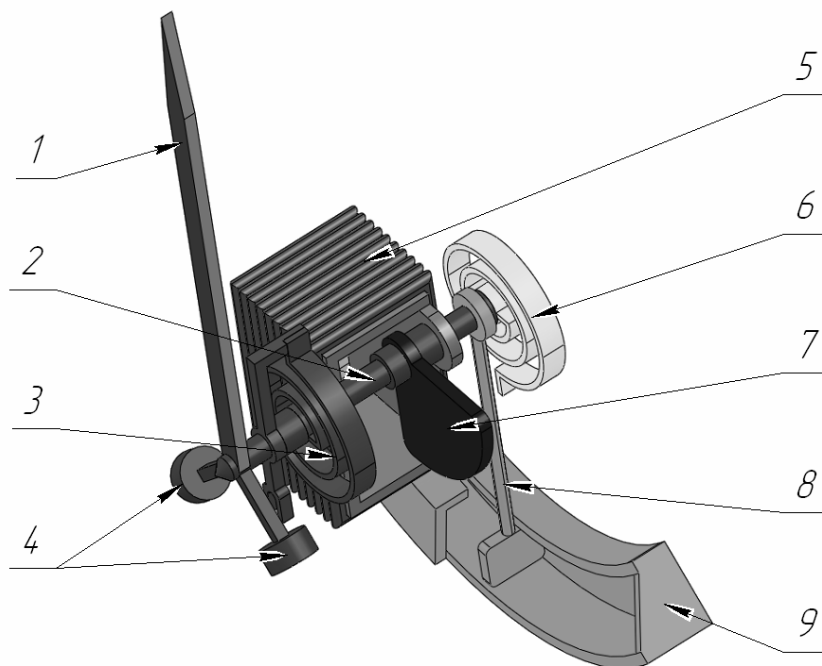


Рисунок 3.5 – конструкция электромагнитной измерительной системы: 1 – стрелка; 2 – вал (ось); 3 – механизм настройки; 4 – противовес; 5 – катушка; 6 – спиральная пружина; 7 – ферромагнитный сердечник; 8 – шток; 9 – цилиндр

Когда через катушку начинает протекать измеряемый ток, происходит появление магнитного поля катушки. При взаимодействии магнитного поля на ферромагнитный сердечник, сердечник начнет втягиваться в катушку и возникнет крутящий момент $M_{кр}$, который приводит к повороту стрелки.

$$M_{кр} = K_1 I^2$$

где: I – измеряемый ток, протекающий по катушке; K_1 – постоянный коэффициент, зависящий от числа витков катушки и от площади рамки.

Квадрат тока свидетельствует о том, что магнитное поле катушки и сердечника создается одним током катушки.

Спиральная пружина 6 будут создавать момент, противодействующий повороту стрелки $M_{пр}$.

$$M_{пр} = K_2 \alpha$$

Принимая во внимание то, что крутящий момент и момент противодействия равны $M_{кр} = M_{пр}$, то получаем:

$$K_1 I^2 = K_2 \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{K_1}{K_2} I^2$$

Это означает, что угол поворота стрелки пропорционален квадрату тока, следовательно, данный прибор можно градуировать как амперметр. Только в данном случае шкала будет неравномерная с разным расстоянием между делениями.

Применяя закон Ома, получаем:

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I^2 \Rightarrow \alpha = \frac{K_1}{K_2} \times \frac{U^2}{R_d^2}$$

Поскольку сопротивление дополнительной катушки является величиной постоянной, следовательно, прибор можно градуировать как вольтметр. У вольтметра так же будет неравномерная шкала.

К недостаткам электромагнитной системы можно отнести следующее: неравномерная шкала, невысокая чувствительность и точность. Достоинством является возможность работы в цепях переменного тока без дополнительных устройств и высокая механическая прочность.

Подключение прибора к измеряемой цепи произвольно и не требует соблюдения полярности.

3.5 Электродинамическая измерительная система

Измерительные приборы с электродинамической измерительной системой находят свое применение в цепях переменного и постоянного тока. Принцип работы прибора с электродинамической системой основан на взаимодействии двух магнитных полей создаваемых катушкой 9 и катушкой 4 (см. рис. 3.6). Катушка 4 располагается на неподвижной рамке 2. А катушка 9 располагается на подвижной рамке 6, которая располагается на подвижном валу 7. на вал крепится стрелка 1, механизм настройки 3, спиральные пружины 8 и демпфер. На стрелку для балансировки устанавливают грузы 5. Механизм настройки 3 предназначен для выставления стрелки на «Ноль» на шкале перед началом измерения. Демпфер изготавливается из подвижного штока 11 и неподвижного полого цилиндра 10. Две спиральные пружины 8 имеют двойное предназначение, во-первых, через них на катушку 9 поступает измеряемый ток, во-вторых, они создают момент, который противодействует повороту стрелки.

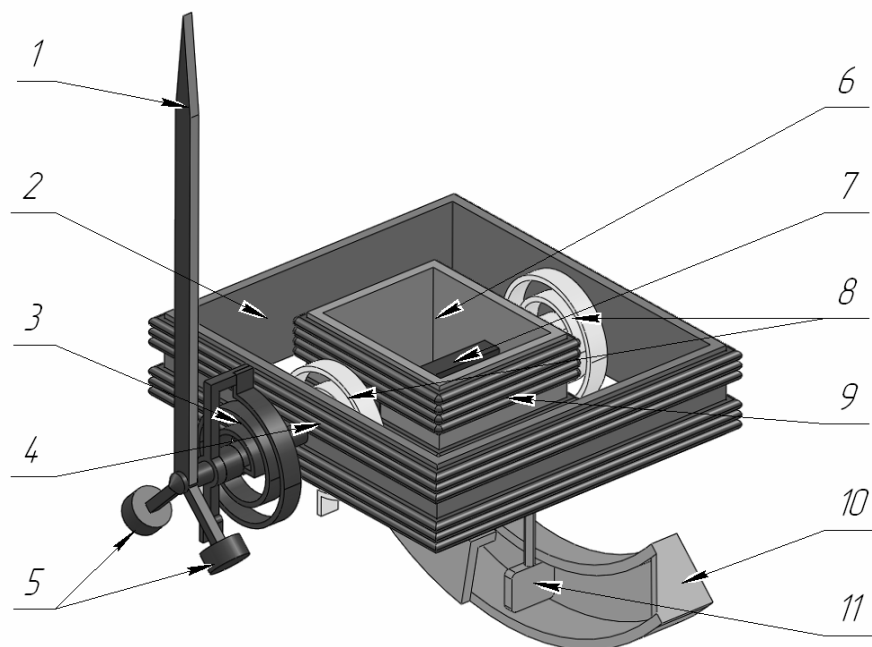


Рисунок 3.6 – Конструкция электродинамической измерительной системы: 1 – стрелка; 2 – неподвижная рамка; 3 – механизм настройки; 4 – катушка; 5 – противовес; 6 – подвижная рамка; 7 – вал (ось); 8 – спиральные пружины; 9 – катушка; 10 – цилиндр; 11 – шток

Когда через катушки 4 и 9 начинает протекать измеряемый ток, происходит появление двух магнитных полей. При их взаимодействии катушка 9 начнет поворачиваться и возникнет крутящий момент $M_{кр}$, который приводит к повороту стрелки.

$$M_{кр} = K_1 I_H I_{\Pi}$$

где: I_{Π} – ток, протекающий по подвижной катушке; $I_{\text{н}}$ – ток, протекающий по неподвижной катушке; K_1 – постоянный коэффициент, зависящий от числа витков катушек и от площади рамок.

Спиральные пружины 8 будут создавать момент, противодействующий повороту стрелки $M_{\text{пр}}$.

$$M_{\text{пр}} = K_2 \alpha$$

Принимая во внимание то, что крутящий момент и момент противодействия равны $M_{\text{кр}} = M_{\text{пр}}$, то получаем:

$$K_1 I_{\text{н}} I_{\Pi} = K_2 \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{K_1}{K_2} I_{\text{н}} I_{\Pi}$$

Применяя закон Ома, получаем:

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I_{\text{н}} I_{\Pi} \Rightarrow \alpha = \frac{K_1}{K_2} \times \frac{U \cdot I_{\text{н}}}{R_{\text{д}}} = \frac{K_1}{K_2} \times \frac{P}{R_{\text{д}}}$$

Поскольку сопротивление дополнительной катушки является величиной постоянной, следовательно, прибор можно градуировать как ваттметр. У ваттметра будет равномерная шкала.

К недостаткам электродинамической системы можно отнести следующее: влияние внешнего магнитного поля на показания прибора и высокое потребление энергии. К достоинствам можно отнести: равномерная шкала, высокая чувствительность и точность, возможность работы в цепях постоянного и переменного тока.

При подключении необходимо не перепутать входы и выходы обмоток. Входы обмоток тока и напряжения маркируются «I*» и «U*» соответственно, а выходы «I» и «U».

3.6 Контрольные вопросы

- 1) Что представляет собой процесс измерения?
- 2) Какие существуют методы измерений?
- 3) Какие бывают погрешности измерения?
- 4) Какие бывают измерительные приборы?
- 5) Почему амперметр нельзя подключать к источнику без последовательной нагрузки?
- 6) Чем отличается амперметр от вольтметра?
- 7) Какие механизмы используются в измерительных приборах?
- 8) Чем отличается магнитоэлектрический измерительный механизм от электромагнитного механизма?
- 9) Чем отличается магнитоэлектрический измерительный механизм от электродинамического механизма?

- 10) Чем отличается электромагнитный измерительный механизм от электродинамического механизма?
- 11) Почему у прибора с магнитоэлектрическим механизмом равномерная шкала?
- 12) Почему у прибора с электромагнитным механизмом неравномерная шкала?

4 ТРАНСФОРМАТОРЫ

4.1 Назначение и конструкция трансформатора

Трансформатор – это электрическая машина, предназначенная для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Трансформаторы применяются на электроподстанциях для снабжения электроэнергией жилые кварталы и заводы или передачи электроэнергии на дальние расстояния. Малогабаритные трансформаторы применяют для питания различных устройств (блок питания компьютера) и как зарядные устройства.

Основными частями трансформатора являются первичная обмотка 3, вторичная обмотки 6 и магнитопровод 1 (см. рис. 4.1). Обмотки изолируются от магнитопровода диэлектрической бумагой или пластиковым сердечником 2. Не основными частями являются клеммник 4, монтажная площадка 7, защитный корпус и крепежные элементы 5. Не основные части в зависимости от тех или иных условий эксплуатации могут отсутствовать.

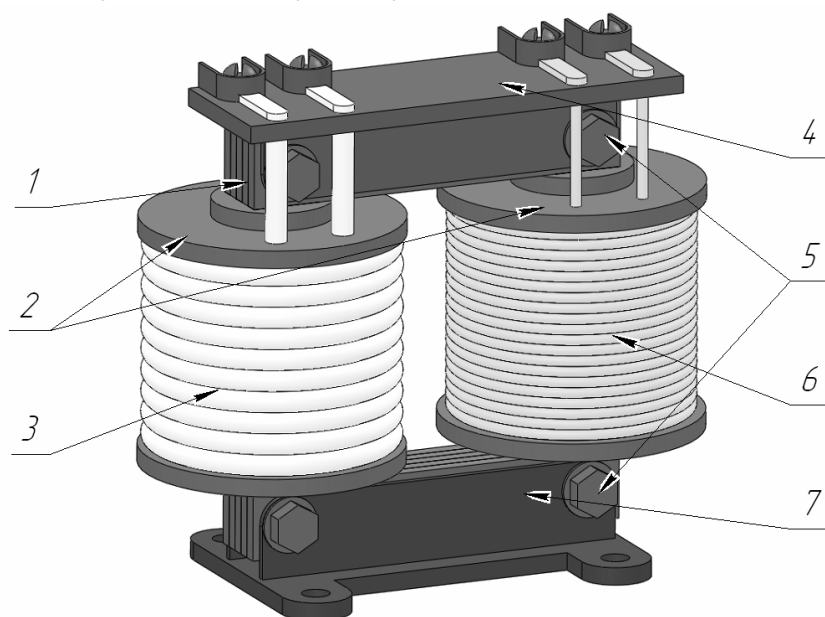


Рисунок 4.1 – Конструкция однофазного понижающего трансформатора: 1 – магнитопровод; 2 – катушки; 3 – обмотка первичная; 4 – клеммник; 5 – крепежные изделия; 6 – обмотка вторичная; 7 монтажная площадка

Первичная обмотка – это обмотка, которая подключается к источнику переменного тока и предназначена для входа напряжения, которое следует преобразовать.

Вторичная обмотка – это обмотка (одна или более), к которой подключается нагрузка и предназначенная для выхода преобразованного напряжения.

Первичная и вторичная обмотки между собой электрически не связаны, они образуют две независимые цепи.

Магнитопровод – это конструктивный элемент, предназначенный для усиления и распространения магнитного потока в нужном направлении. Магнитопровод изготавливают из материалов с высокой магнитной проницаемостью (электротехническая сталь). Магнитопровод набирают из тонких листов толщиной 0,5 мм. Каждый лист покрывают теплостойким лаком. Листовая структура магнитопровода позволяет направить магнитное поле (магнитный поток) по нужной траектории (см. рис. 4.2а). У кольцевого трансформатора магнитопровод набирается из стальной ленты. Элементами магнитопровода являются ярмо 1 и стержни 2.

Клеммник – это конструктивный элемент, предназначенный для механического соединения обмоток трансформатора с электрической цепью. Клеммник состоит из диэлектрического основания 7, механических контактов 4 и защитных перегородок 6 (см. рис. 4.2б). Механические контакты изготавливаются обычно в виде резьбового соединения и являются связующим звеном между электрической цепью и обмотками трансформатора 3 и 5. защитные перегородки необходимы для предотвращения появления электрической дуги между контактами, так как они могут располагаться очень близко.

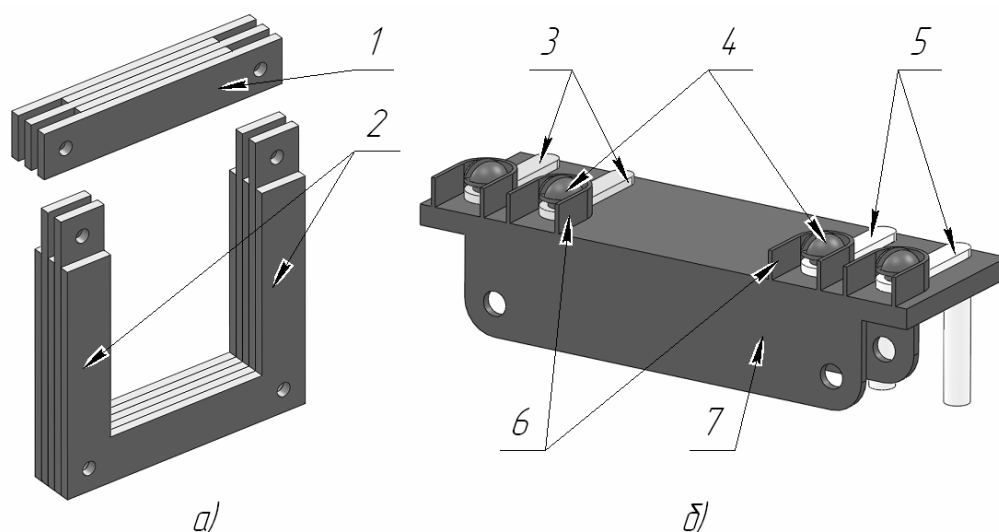


Рисунок 4.2 – Конструктивные элементы трансформатора: 1 – перемычка (ярмо); 2 – стержни; 3 – соединительные провода первичной обмотки; 4 – механические контакты; 5 – соединительные провода вторичной обмотки; 6 – защитные перегородки; 7 – основание клеммника

4.2 Принцип действия трансформатора

На рисунке 4.3 представлена упрощенная схема подключения однофазного трансформатора и его работа. Схема состоит из следующих

элементов: $G1$ – генератор переменного тока; $T1$ – однофазный трансформатор с первичной обмоткой $w1$ и вторичной обмоткой $w2$; R_N – нагрузка.

Первичная обмотка $w1$ имеет два контакта (точка А и В), которыми она подключается к генератору $G1$. Вторичная обмотка $w2$ так же имеет два контакта (точка С и D), к которым подключается нагрузка R_N .

После того как цепь первичной обмотки и генератора будет замкнута, в ней появится переменный ток I_{w1} . Ток I_{w1} , проходя через первичную обмотку $w1$ трансформатора $T1$, будет создавать переменное магнитное поле вокруг обмотки. Переменное магнитное поле будет воздействовать на магнитопровод и в нем появится переменный магнитный поток Φ . Магнитный поток будет распространяться по магнитопроводу и будет взаимодействовать с вторичной обмоткой $w2$. Под воздействием переменного магнитного поля во вторичной обмотке появится ЭДС. Это приведет к появлению напряжения между точками С и D. Подключение нагрузки R_N к вторичной обмотке приведет к появлению переменного тока I_{w2} .

Для генератора $G1$ первичная обмотка $w1$ будет нагрузкой или потребителем электроэнергии, а вторичная обмотка $w2$ для нагрузки R_N будет источником тока.

При подключении первичной обмотки к источнику постоянного тока не приведет к появлению тока во вторичной обмотке, так как постоянный ток не трансформируется. В этом случае трансформатор будет работать как обычный электромагнит.

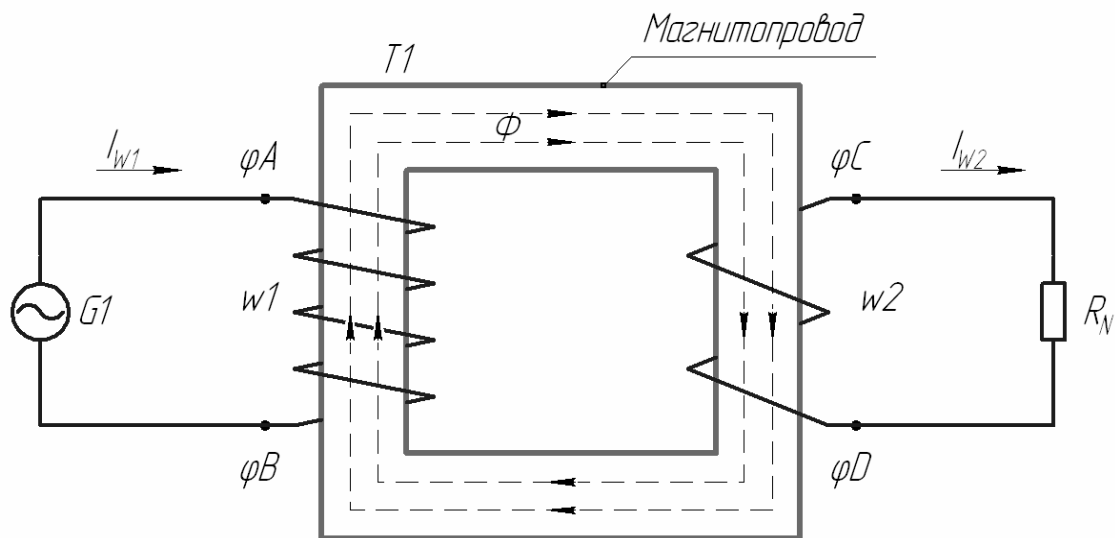


Рисунок 4.3 – Иллюстрация работы трансформатора

4.3 Классификация трансформаторов

В настоящее время существует больше разнообразие видов трансформаторов с различными конструктивными решениями. Но практически все трансформаторы можно классифицировать по шести основным критериям:

а) По конструкции:

Стержневой трансформатор – это трансформатор, у которого каждая обмотка располагается на своем стержне (см. рис. 4.4а). Достоинством стержневого трансформатора является простота ремонта при перегорании одной из обмоток, а недостатком – плохая защита от внешнего механического воздействия.

Броневого трансформатора – это трансформатор, у которого первичная и вторичная обмотка располагаются на одном стержне (см. рис. 4.4б). У броневого трансформатора одна обмотка внутри, а вторая снаружи. При этом обмотка низшего напряжения располагается внутри, а высшего напряжения снаружи. Достоинством броневого трансформатора является защита магнитопроводом обмоток, а недостатком – в случае перегорания одной обмотки, повреждаются обе обмотки.

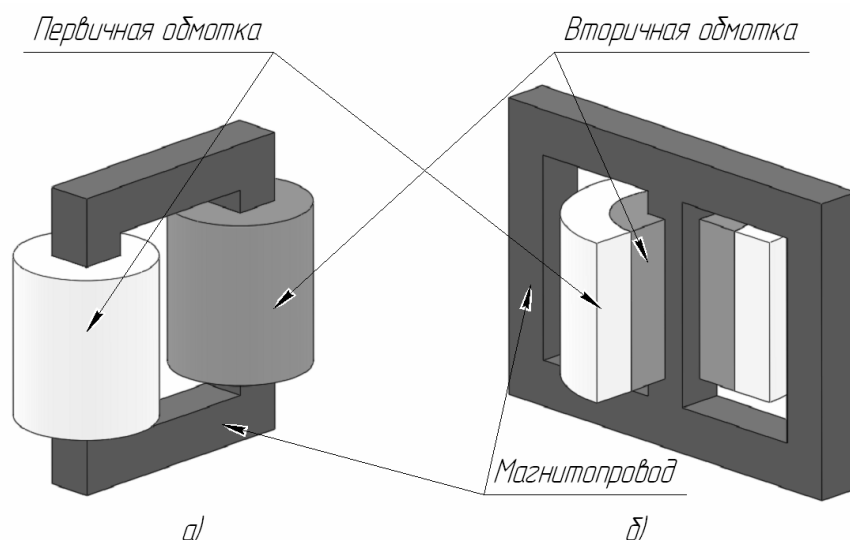


Рисунок 4.4 – Классификация трансформаторов по конструкции

б) По величине преобразуемого напряжения: повышающие и понижающие трансформаторы. Для данной классификации пользуются таким параметром как – коэффициент трансформации K_T .

Коэффициент трансформации – это коэффициент, показывающий во сколько раз число витков вторичной обмотки больше числа витков первичной обмотки. Так же коэффициент трансформации можно определить по отношению выходного напряжения U_{w2} к входному напряжению U_{w1} . Входные и выходные параметры напряжения указываются на клеммнике рядом с контактами.

$$K_T = \frac{w_2}{w_1} \approx \frac{U_{w2}}{U_{w1}}$$

Повышающий трансформатор – это трансформатор, у которого напряжение на первичной обмотке меньше чем напряжение на вторичной обмотке. Так же у повышающего трансформатора число витков вторичной обмотки больше чем число витков первичной обмотки. У повышающего трансформатора $K_T > 1$.

Понижающий трансформатор – это трансформатор, у которого напряжение на первичной обмотке больше чем напряжение на вторичной обмотке. Так же у понижающего трансформатора число витков вторичной обмотки меньше чем число витков первичной обмотки. У понижающего трансформатора $K_T < 1$.

в) По назначению:

Силовой трансформатор – это трансформатор, предназначенный для передачи электроэнергии и для питания разнообразной бытовой техники (электродвигатели, электронные лампы);

Специальный трансформатор – это трансформатор, который имеет узкую специализацию, например сварочные трансформаторы;

Измерительный трансформатор – это трансформатор, применяемый исключительно для подключения измерительных приборов.

г) По числу фаз:

Однофазный трансформатор – это трансформатор, у которого одна первичная обмотка и одна или несколько вторичных обмоток;

Трехфазный трансформатор – это трансформатор, у которого три первичных обмотки и три вторичных обмотки обычно соединенные по схеме «звезда» или «треугольник».

д) По способу охлаждения:

Трансформатор открытого типа – это трансформатор, который в качестве охлаждающей среды использует воздух с принудительным или естественным охлаждением. Такие трансформаторы способны пропускать через себя мощность до 10 кВт;

Трансформатор закрытого типа – это трансформатор, который в качестве охлаждающей среды использует жидкость с принудительным или естественным охлаждением. В качестве жидкости применяется трансформаторное масло. Трансформаторы закрытого типа устанавливают в специальные контейнеры. Такие трансформаторы способны пропускать через себя мощность свыше 10 кВт.

е) По постоянности выходных параметров:

Постоянные – трансформаторы, у которых коэффициент трансформации является постоянной величиной;

Регулируемые (автотрансформаторы) – трансформаторы, у которых коэффициент трансформации можно регулировать в определенных пределах с помощью специальной рукоятки.

4.4 Измерительные трансформаторы

Измерительные трансформаторы тока. Рассмотрим схему, представленную на рисунке 4.5а. Измерительные трансформаторы тока применяются в тех случаях, когда обычные амперметры нельзя подключить последовательно с нагрузкой R_N . Это происходит тогда, когда диаметр проводов может достигать 20 мм и выше. Это означает, что по проводам через нагрузку R_N протекает ток I_N в десятки или сотни ампер. В этом случае применяют измерительный трансформатор тока $TA1$, который выглядит следующим образом: вторичная обмотка наматывается на провод (один или два витка), по которому протекает измеряемый ток I_N . Оба конца вторичной обмотки трансформатора $TA1$ напрямую соединяются с амперметром $PA1$ без последовательной нагрузки.

Поскольку внутреннее сопротивление амперметра очень маленькое то возникает вероятность возникновения тока короткого замыкания I_{K3} . Но так как напряжения U_{w2} , возникающее во вторичной обметке из-за незначительного числа витков, не будет превышать нескольких вольт. Следовательно, через амперметр $PA1$ будет протекать ток I_{w2} . В этом случае величина тока будет приблизительно равна току короткого замыкания $I_{w2} \approx I_{K3}$. Это означает, что измерительные трансформаторы тока работают в режиме близкому к короткому замыканию, следовательно, один из контактов вторичной обмотки требует наличия заземления.

Измерительные трансформаторы тока так же обеспечивают безопасность человека (оператора), который снимает показания с измерительного прибора. Такие трансформаторы располагаются на электростанциях в центре управления распределением электроэнергии. Так же для измерения тока, протекающего по толстым проводам, применяются токовые клещи.

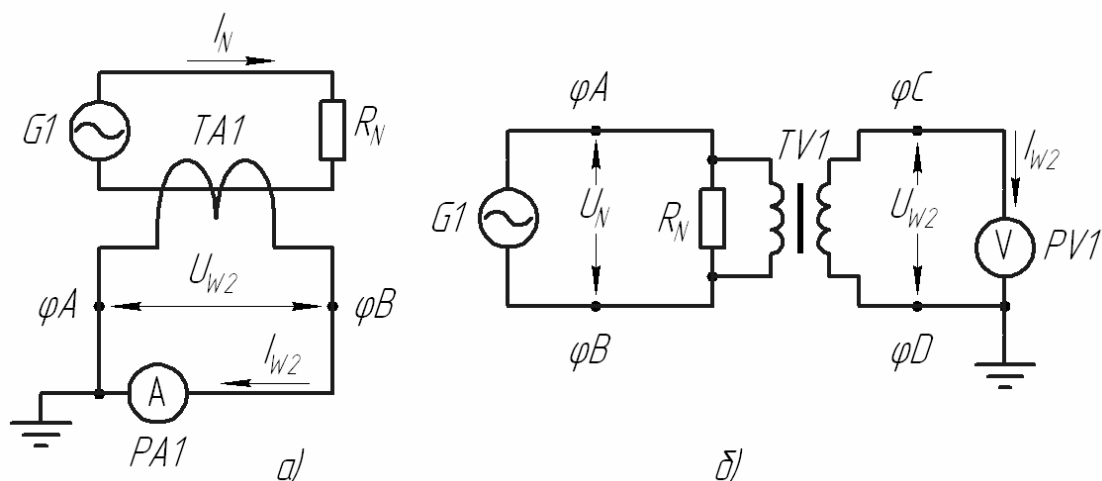


Рисунок 4.5 – Схема подключения измерительных трансформаторов

Измерительные трансформаторы напряжения. Рассмотрим схему, представленную на рисунке 4.5б. В этом случае в роли измеряемого параметра выступает напряжение U_N нагрузки R_N , которое необходимо измерить. Напряжение U_N может достигать десятков или сотен тысяч вольт. В этом случае подключать вольтметр параллельно нагрузке не рекомендуется, так как возникает вероятность электрического пробоя корпуса измерительного прибора, из-за того, что изоляция корпуса измерительного прибора может выдержать 5000 вольт. Пробой может привести к короткому замыканию, ударом электрическим током или пожару.

Для предотвращения аварийного состояния применяют измерительные трансформаторы напряжения TV1. трансформатор напряжения TV1 является понижающим трансформатором, следовательно, во вторичной обмотке возникает напряжение U_{w2} , которое в 1000 раз меньше измеряемого напряжения U_N . К вторичной обмотке подключается вольтметр TV1, шкала которого отградуирована в соответствии с измеряемым напряжением. Так как к первичной обмотке подключено очень большое напряжение, то сохраняется вероятность электрического пробоя. Это означает, что вторичная обмотка может оказаться под напряжением U_N , следовательно, такие трансформаторы, так как и трансформаторы тока, требуют наличия заземления.

Вольтметры имеют очень большое внутреннее сопротивление, следовательно, через вольтметр PV1 будет протекать ток, значение которого будет незначительным $I_{w2} \approx 0$. Это означает, что трансформаторы напряжения работают в режиме холостого хода.

Измерительные трансформаторы напряжения так же обеспечивают безопасность оператора, который снимает показания с измерительного прибора. Такие трансформаторы располагаются на электростанциях в центре управления распределением электроэнергии.

4.5 Автотрансформаторы

Автотрансформатор – это трансформатор, у которого коэффициент трансформации можно регулировать в определенных пределах с помощью специальной рукоятки.

Автотрансформаторы могут иметь различные конструктивные исполнения. Упрощенный вариант автотрансформатора представлен на рисунке 4.6. У автотрансформатора часть первичной обмотки работает как вторичная обмотка, поэтому первичная и вторичная обмотки электрически связаны между собой в отличие от трансформатора с постоянным коэффициентом трансформации. Для изменения коэффициента трансформации применяют скользящий контакт.

Автотрансформатор представляет собой кольцевую катушку 10, которая намотана на магнитопровод 1, который установлен на монтажную плиту 11. Катушка 10 является первичной обмоткой трансформатора, которая соединяется с контактами 3 и 4, расположенными на клеммнике 5. Взаимодействие катушки и контактов осуществляется через соединительные провода 2. Контакт 3 напрямую соединяется с катушкой, а контакт 4 имеет ответвление, которое переходит в контакт 6.

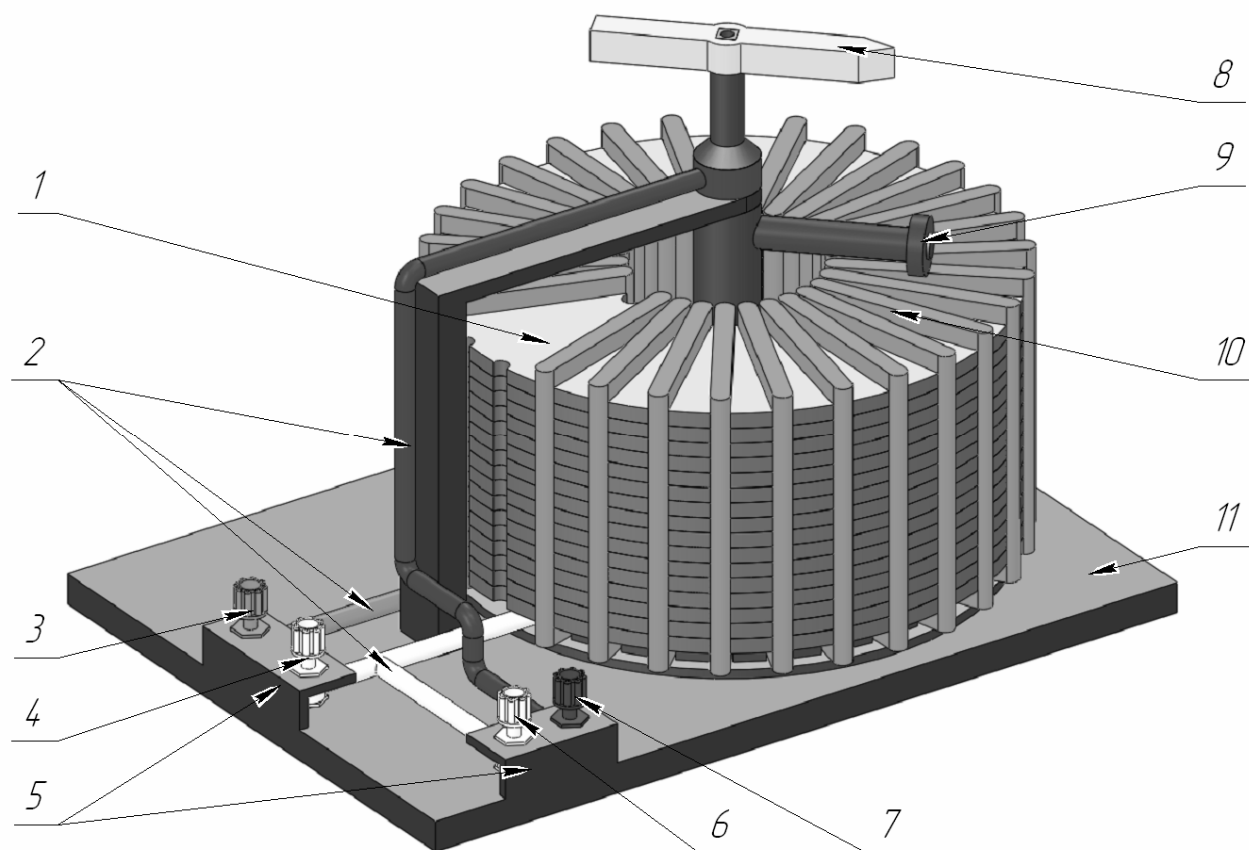


Рисунок 4.6 – Конструкция автотрансформатора: 1 – магнитопровод; 2 – соединительные провода; 3, 4, 6, 7 - контакты; 5 – клеммник; 8 – рукоятка; 9

– скользящий контакт в виде графитового колеса; 10 – кольцевая катушка (обмотка); 11 – монтажная плата

Как отмечалось ранее, для изменения коэффициента трансформации применяется скользящий контакт. В качестве скользящего контакта выступает графитовое колесо 9. Это колесо перемещается по катушке 10 и изменяет число витков находящихся в зацеплении вторичной обмотки. Колесо 9 напрямую соединяется с контактом 7 через соединительные провода. Контакты 6 и 7 образуют выходы вторичной обмотки. Для перемещения колеса 9 по обмотке 10 применяется рукоятка 8. Графическое изображение трансформатора представлено на рисунке 4.7, так же на него нанесены контакты представленные на рисунке 5.6.

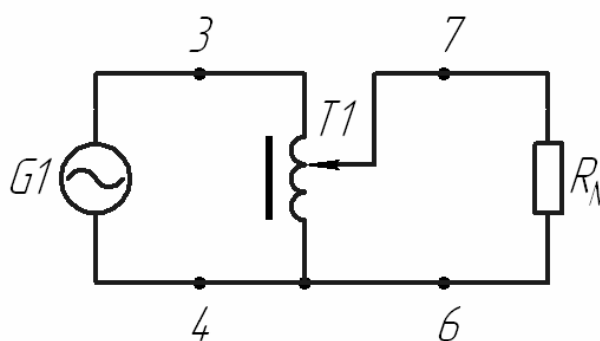


Рисунок 4.7 – Графическое изображение автотрансформатора с контактами

Автотрансформаторы боятся короткого замыкания во вторичной обмотке, так как приводит к скачкообразному повышению тока в первичной обмотке.

4.6 Режимы работы трансформатора

В работе трансформатора выделяют три режима, каждый из которых имеет свои особенности, которые могут положительно и отрицательно сказываться на конструкции и работоспособности всего устройства.

Режимы работы: номинальный режим, режим холостого хода, режим короткого замыкания.

Номинальный режим. При номинальном режиме или режиме работы с нагрузкой первичная обмотка трансформатора $T1$ подключена к источнику переменного тока $G1$, а вторичная обмотка подключена к нагрузке R_N (см. рис. 4.8). Первичная и вторичная цепь являются замкнутыми.

В данном случае по первичной и вторичной цепи протекают токи I_{w1} и I_{w2} , значения которых равны расчетным значениям и являются номинальными, так как сопротивление нагрузки равно номинальному значению $R_N = R_{ном}$. Цепь работает в штатном режиме и согласованным изменением протекающего тока.

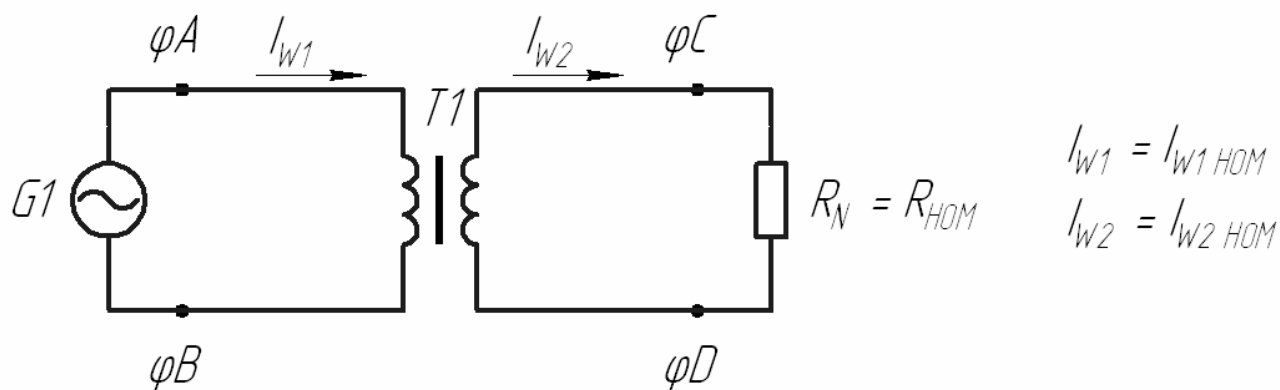


Рисунок 4.8 – Номинальный режим работы трансформатора

Режим холостого хода. В данном случае первичная обмотка трансформатора $T1$ образует с источником переменного тока $G1$ замкнутую цепь, по которой протекает ток I_{w1} (см. рис. 5.9). А вторичная обмотка образует разомкнутую цепь, так как к контактам φ_C и φ_D не подключена нагрузка или сопротивление нагрузки стремится к бесконечности $R_N = \infty$.

По вторичной цепи не протекает ток $I_{w2} = 0$. Так как во вторичной цепи нет потребителей электроэнергии, трансформатор $T1$ переходит в разряд нагрузки первичной цепи и потребляет энергию источника тока $G1$. Сила тока в первичной цепи не будет равна нулю $I_{w1} \neq 0$, так как цепь является замкнутой.

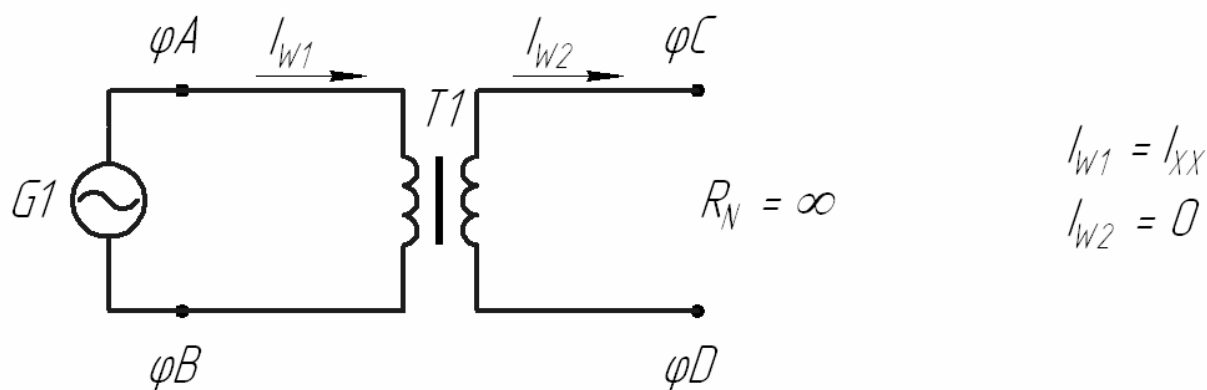


Рисунок 4.9 – Режим холостого хода трансформатора

Режим короткого замыкания. Как и в предыдущих случаях, первичная цепь трансформатора $T1$ является замкнутой на источник тока $G1$ (см. рис. 4.10). Режим короткого замыкания проявляется во вторичной цепи трансформатора, когда между точками φ_C и φ_D оказывается нагрузка с практически нулевым сопротивлением $R_N \approx 0$. Это приводит к увеличению тока вторичной обмотки до значения тока короткого замыкания $I_{w2} = I_{кз}$.

Ток короткого замыкания на много превышает расчетное значение тока, что приводит к аварийному режиму работы трансформатора $T1$. Так как значение тока вторичной цепи превышает допустимое значение, то это приводит к перегоранию обеих обмоток трансформатора, если он является броневым. У стержневого трансформатора первичная обмотка может сохранить работоспособность, так как располагается на отдельном стержне и электрически отделена от вторичной обмотки. По первичной обмотке так же будет протекать ток, превышающий номинальное значение $I_{W1} > I_{НОМ}$ из-за коэффициента трансформации, но его значение будет в разы меньше тока короткого замыкания.

Режим короткого замыкания понижающего трансформатора проводят в лабораторных условиях, но при этом на первичную обмотку стараются подавать незначительное значение напряжения. В этом случае на вторичной обмотке будет практически нулевое напряжение и это не приведет к появлению опасного значения тока.

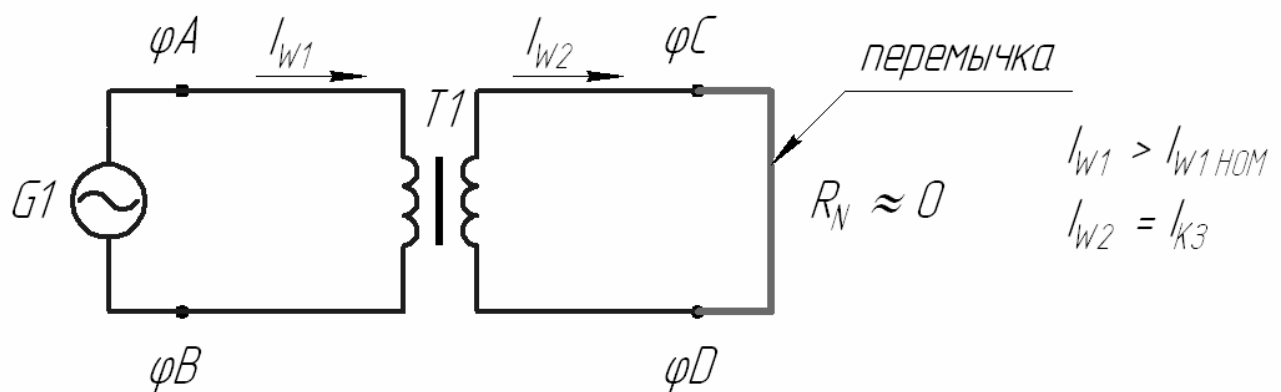


Рисунок 4.10 – Режим короткого замыкания трансформатора

4.7 Контрольные вопросы

- 1) Что такое трансформатор?
- 2) Из каких основных частей состоит трансформатор?
- 3) Для чего в промышленности применяются трансформаторы?
- 4) По каким параметрам можно классифицировать трансформаторы?
- 5) В каких режимах работают трансформаторы?
- 6) Что такое автотрансформатор?
- 7) Чем автотрансформатор отличается от обычного трансформатора?
- 8) В каких случаях трансформаторы требуют наличия принудительного охлаждения?
- 9) Чем отличается работа трансформатора с постоянным током от работы с переменным током?
- 10) Какие трансформаторы применяются для измерений?

- 11) Как определить коэффициент трансформации, не подключая трансформатор к сети?
- 12) Чем броневой трансформатор отличается от стержневого трансформатора?
- 13) Для чего применяются измерительные трансформаторы тока и напряжения?
- 14) Для чего в трансформаторах применяют магнитопровод?

5 МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

5.1 Общие сведения

Машины переменного тока по назначению делятся на две группы: генераторы и двигатели переменного тока.

Генератор – это электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую энергию.

Двигатель – это электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую энергию.

Машины переменного тока имеют две основные части: ротор и статор.

Ротор – это подвижная часть машины переменного тока, совершает вращательные движения.

Статор – это неподвижная часть машины переменного тока.

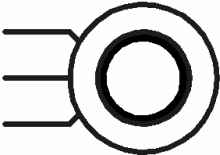
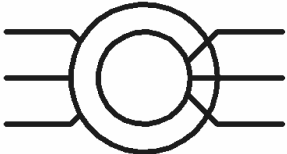
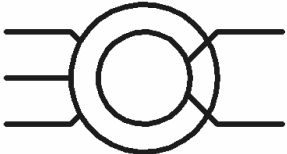
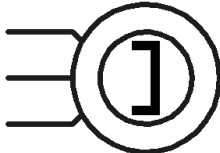
По конструктивным признакам машины переменного тока делятся на синхронные и асинхронные машины.

Синхронная машина – это электрическая машина, у которой частота вращения ротора совпадает с частотой вращения магнитного поля статора. Поэтому эти машины называют синхронными машинами. Синхронные двигатели выступают в роли двигателей и генераторов.

Асинхронная машина – это электрическая машина, у которой частота вращения ротора не совпадает с частотой вращения магнитного поля статора, при этом ротор вращается медленнее. Поэтому эти машины называют асинхронными машинами. Асинхронные двигатели выступают исключительно двигателей.

На производстве изготавливают различные виды машин переменного тока, каждый из которых находит свое применение, так как обладает только ему присущими характеристиками. Некоторые виды изготавливаемых машин переменного тока, их условное графическое изображение и буквенно-цифровое обозначение представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Машины переменного тока

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	М	
Асинхронный двигатель с фазным ротором		
Синхронная машина с электромагнитами на якоре		
Синхронная машина с постоянными магнитами на якоре		

5.2 Конструкция асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором являются самыми простыми по конструкции машинами и поэтому находят широкое применение на производстве и в бытовых целях. На производстве широкое распространение получили трехфазные асинхронные двигатели.

На рисунке 5.1 представлена упрощенная конструкция асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Как отмечалось выше, машины переменного тока имеют две основные части: ротор и статор.

Сборка статора начинается с чугунного корпуса 3, который имеет на внешней поверхности ребра, которые предназначены для отвода тепла. Корпус имеет монтажные отверстия 10, через которые осуществляется неподвижная фиксация корпуса с сопрягаемыми деталями. Некоторые конструкции не предусматривают наличия монтажных отверстий на корпусе, в этом случае монтажные отверстия располагаются на одной из крышек 6. Крышки крепятся к корпусу 3 с двух сторон. В крышках располагается подшипниковый узел для контакта с ротором. Крышки так же содержат отверстия для вентиляции. Так же на корпусе располагается клеммник 1, который предназначен для электрического соединения двигателя с электрической цепью. Корпус имеет центральное цилиндрическое отверстие, в которое устанавливается кольцевой магнитопровод 5 статора. Магнитопровод изготавливают из листовой

электротехнической стали с толщиной листа 0,5 мм. Магнитопровод 5 имеет специальные пазы, идущие вдоль оси центрального отверстия. В эти пазы укладывается трехфазная обмотка 2, которая соединяется с контактами клеммника 1.

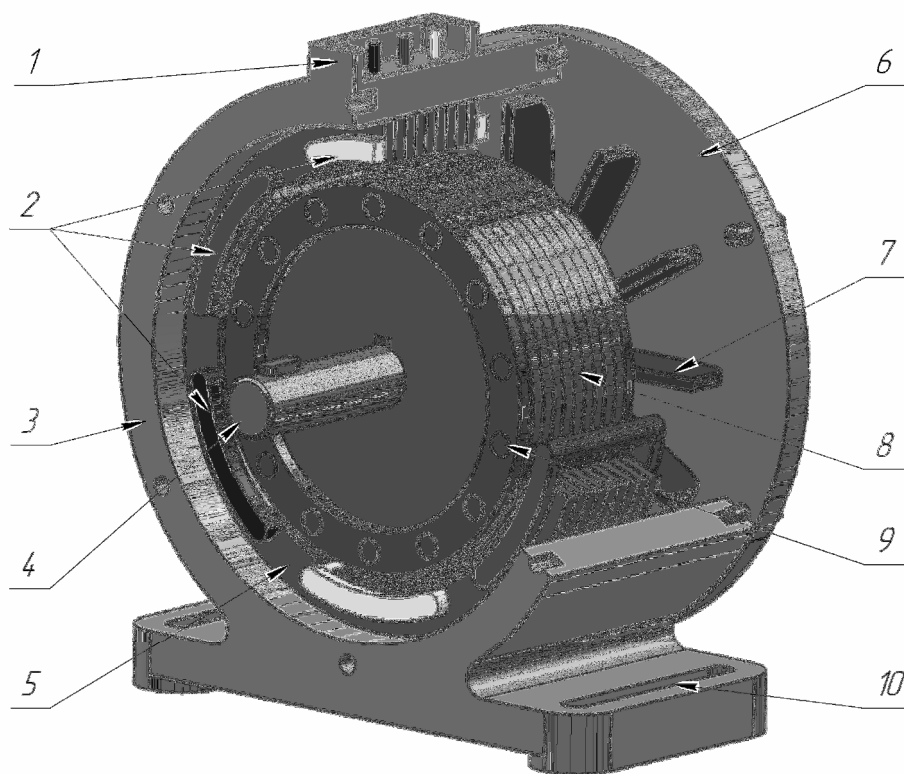


Рисунок 5.1 – Конструкция асинхронного электродвигателя: 1 – клеммник; 2 – трехфазная обмотка; 3 – корпус; 4 – вал; 5 – магнитопровод статора; 6 – крышка с подшипниковым узлом; 7 – вентилятор; 8 – магнитопровод ротора; 9 – короткозамкнутая обмотка; 10 – монтажные отверстия корпуса

Сборка ротора начинается со стального вала 4, который контактирует со статором через подшипниковые узлы крышек 6. На вал устанавливается магнитопровод ротора 8, который так же набирается из листов электротехнической стали. В магнитопроводе предусмотрены специальные отверстия, которые имеют разнообразную форму. В некоторых случаях отверстия могут располагаться в два ряда. В отверстиях магнитопровода располагается короткозамкнутая обмотка ротора. На валу 4 так же располагается вентилятор, необходимый для принудительной циркуляции воздуха.

Конструкция короткозамкнутой обмотки ротора представлена на рисунке 6.2. Короткозамкнутую обмотку иногда называют «беличьей клеткой». Обмотка может изготавливаться из медных или алюминиевых колец 1 и стержней 2.

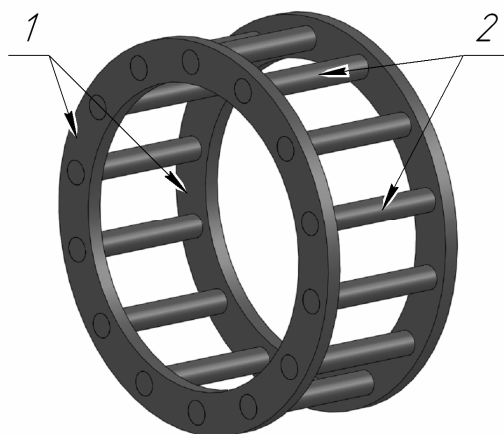


Рисунок 5.2 – Конструкция короткозамкнутой обмотки: 1 – медные кольца; 2 – медные стержни

Для циркуляции воздуха по асинхронному двигателю между ротором и статором есть воздушный зазор в диапазоне 0,3...1,5 мм. Увеличение зазора приводит к большим магнитным потерям и снижению КПД, но улучшает теплообмен. Уменьшение зазора приводит к перегреву двигателя.

5.3 Работа и подключение асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Трехфазные асинхронные двигатели предназначены для подключения к трехфазной сети, но могут работать и от однофазной сети, но для этого требуются специальные пусковые конденсаторы, которые будут создавать смещение фаз.

Между трехфазной обмоткой двигателя и трехфазной сетью располагается клеммник с шестью контактами (см. рис. 5.3). Контакты C1, C2, C3 отвечают за начала фазных обмоток, а контакты C4, C5, C6 отвечают за концы фазных обмоток. Контакты C1 и C4 образуют первую фазу, Контакты C2 и C5 образуют вторую фазу, а контакты C3 и C6 образуют третью фазу.

Клеммник позволяет соединять обмотки двигателя по схеме «звезда» и «треугольник» (см. рис. 5.3). Для соединения по схеме «треугольник» необходимо соединить попарно контакты C1 и C5, C2 и C6, C3 и C4, а контакты C1, C2, C3 подключить к фазам А, В, С. Для соединения по схеме «звезда» необходимо соединить в одну точку контакты C4, C5, C6, а контакты C1, C2, C3 подключить к фазам А, В, С.

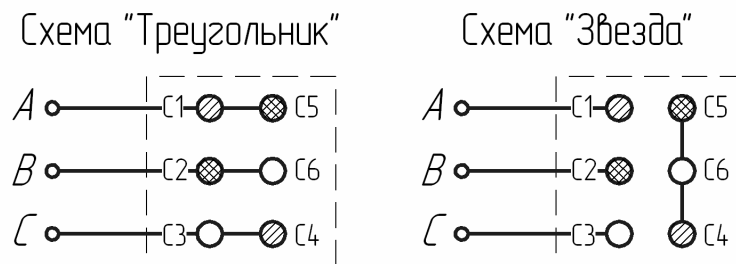


Рисунок 5.3 – Схемы соединения обмоток асинхронного двигателя

При подаче на трехфазную обмотку статора переменного трехфазного тока, в обмотке статора возникает вращающееся магнитное поле. Эффект вращения магнитного поля получается по тому что обмотки чередуются и располагаются по диаметру статора. Как отмечалось ранее, максимальное значение напряжения в каждой фазе трехфазной цепи достигается не одновременно, а через равные промежутки времени, вследствие чего получается эффект «бегущей волны».

Вращающееся магнитное поле создает переменный магнитный поток в магнитопроводе статора, который, преодолевая воздушное сопротивление, передается на магнитопровод ротора. Магнитный поток ротора наводит ЭДС в короткозамкнутой обмотке, которая приводит к появлению электрического тока. В результате вокруг короткозамкнутой обмотки возникает магнитное поле ротора.

Взаимодействие двух магнитных полей ротора и статора приводит к возникновению крутящего момента на валу ротора, вследствие чего ротор начинает вращаться.

Во время пуска асинхронного двигателя происходит скачек тока, величина которого в 5-7 раз превышает номинальный ток двигателя. Крутящий момент вовремя пуска незначителен, поэтому асинхронные двигатели не рекомендуется включать в нагруженном состоянии. Сначала двигатель запускают на холостом ходу и дают ему выйти на рабочие обороты, а потом прикладывают нагрузку. Асинхронные двигатели из-за этой их особенности работы применяют в качестве привода в металлорежущих станках и конвейерных лентах, используют в качестве вентиляторов.

5.4 Частота вращения асинхронного двигателя и его КПД

Как отмечалось ранее, частота вращения ротора и магнитного поля статора не совпадают, это обусловлено наличием эффекта «скольжения».

Частота вращения магнитного поля статора:

$$n_1 = \frac{60f}{p}, \text{ об/мин}$$

где: n_1 – частота вращения магнитного поля статора, об/мин; f – частота тока в сети, Гц; p – число пар полюсов статора.

Частота вращения ротора:

$$n_2 = n_1(1 - s), \text{ об/мин}$$

где: s – скольжение.

В момент пуска скольжение $s = 1$, а во время работы $s = 0,02 \dots 0,06$. Если скольжение $s = 0$, то ротор остановится, так как в нем не будет возникать ЭДС, которая приводит его в движение.

Число пар полюсов статора и частота тока в сети являются величинами постоянными, следовательно, частота вращения асинхронного двигателя будет фиксировано для каждого двигателя.

На КПД асинхронного двигателя влияют различные параметры: магнитные потери в воздушном зазоре между ротором и статором, трения в подшипниках, тепловые потери и другие потери. В результате КПД асинхронного двигателя составляет около 60-65%.

5.5 Синхронные машины

Синхронные машины способны работать как двигатели, так и генераторы переменного тока. Синхронные машины обратимы, это значит, что генераторы переменного тока могут работать, как двигатели, а синхронные двигатели могут работать как генераторы переменного тока.

Конструкция синхронной машины сложнее, чем конструкция асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Технические характеристики и обратимость являются достоинствами синхронных машин и поэтому эти машины находят широкое применение на производстве и в бытовых целях.

На рисунке 5.4 представлена упрощенная конструкция синхронной машины.

Сборка статора начинается с корпуса 6, который имеет на внешней поверхности ребра, которые предназначены для отвода тепла. Корпус может быть изготовлен из чугуна или стали. Корпус имеет монтажные отверстия 12, через которые осуществляется неподвижная фиксация корпуса с сопрягаемыми деталями. Некоторые конструкции не предусматривают наличия монтажных отверстий на корпусе, в этом случае монтажные отверстия располагаются на одной из крышек 8. Крышки крепятся к корпусу с двух сторон. В крышках располагается подшипниковый узел для контакта с ротором. Крышки так же содержат отверстия для вентиляции. На корпусе располагается клеммник 1, который предназначен для электрического соединения синхронной машины с электрической цепью постоянного и переменного тока. Корпус имеет

центральное цилиндрическое отверстие, в которое устанавливается кольцевой магнитопровод 7 статора. Магнитопровод изготавливают из листовой электротехнической стали с толщиной листа 0,5 мм. Магнитопровод 7 имеет специальные пазы, в которые укладывается трехфазная обмотка 2, которая соединяется с контактами клеммника 1. Корпус с внутренней стороны имеет щеткодержатели 3, в которые устанавливаются графитовые щетки 4. Провода от щеток идут в клеммник 1.

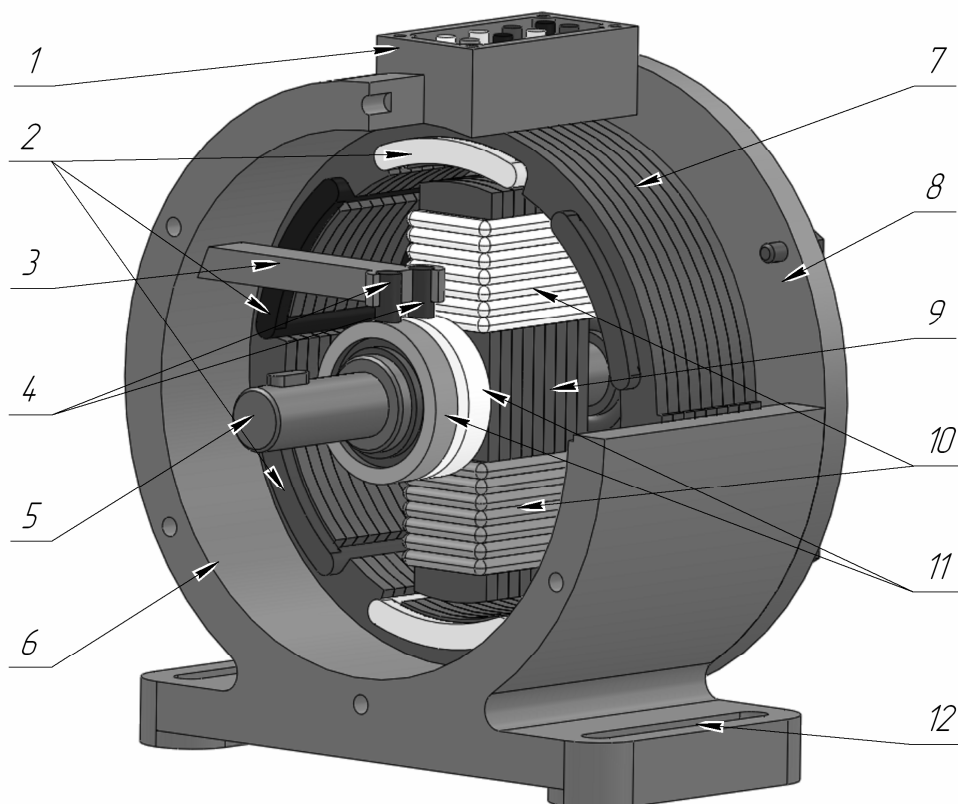


Рисунок 5.4 – Конструкция синхронной машины: 1 – клеммник; 2 – трехфазная обмотка статора; 3 – щеткодержатель; 4 – графитовые щетки; 5 – вал; 6 – корпус; 7 – магнитопровод статора; 8 – крышка с подшипниковым узлом; 9 – магнитопровод ротора; 10 – полюсная обмотка ротора; 11 – контактные кольца; 12 – монтажные отверстия корпуса

Сборка ротора начинается со стального вала 5, который контактирует со статором через подшипниковые узлы крышек 8. На вал устанавливается магнитопровод ротора 9, который так же набирается из листов электротехнической стали. На магнитопровод ротора устанавливается четное количество полюсных обмоток 10. Эти обмотки создают постоянный северный и южный полюс, обмотки питаются постоянным током. Провода полюсных обмоток выходят на медные контактные кольца 11. Контактные кольца устанавливаются на вал 5, но электрически изолируются от него. Контактные кольца образуют скользящий контакт с графитовыми щетками 4.

Синхронные машины малой мощности вместо полюсных обмоток имеют постоянные магниты, это обусловлено тем, что такие машины имеют небольшие габариты, что позволяет упростить конструкцию машины. Такая конструкция синхронной машины находит применение в качестве переносных резервных генераторах и автомобильных генераторах в автомобилях.

5.6 Работа и подключение синхронной машины

Клеммник синхронной машины, как и клеммник асинхронного двигателя, позволяет соединять обмотки по схеме «звезда» и «треугольник». Для этого предназначены контакты $C1...C6$. Так же клеммник имеет два дополнительных контакта «+» и «-», которые предназначены для подключения к источнику постоянного тока (см. рис. 5.5).

Если у синхронной машины на роторе располагаются постоянные магниты, то такие машины имеют только три контакта $C1...C3$. Трехфазная обмотка таких машин имеет соединение по схеме «треугольник».

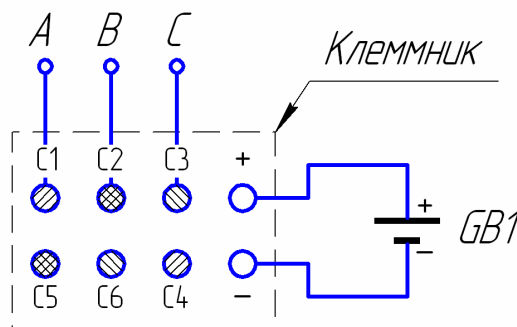


Рисунок 5.5 – Клеммник синхронной машины

При подаче на трехфазную обмотку статора переменного трехфазного тока, в обмотке статора возникает вращающееся магнитное поле. Эффект вращения магнитного поля получается по тому что обмотки чередуются и располагаются по диаметру статора. Как отмечалось ранее, максимальное значение напряжения в каждой фазе трехфазной цепи достигается не одновременно, а через равные промежутки времени, вследствие чего получается эффект «бегущей волны».

Постоянный ток, поступающий на полюсную обмотку, также создает постоянное магнитное поле. Взаимодействие двух магнитных полей ротора и статора приводит к возникновению крутящего момента на валу ротора, вследствие чего ротор начинает вращаться.

Во время пуска синхронная машина работает как асинхронная, это связано с тем, что вращающееся магнитное поле статора сразу набирает максимальные обороты, а ротору необходимо перейти из статического состояния в динамическое состояние, преодолев при этом сопротивление воздуха и

механическое сопротивление в подшипниках. Затем наступает синхронизация оборотов.

5.7 Частота вращения синхронного двигателя и его КПД

Как отмечалось ранее, частота вращения ротора и магнитного поля статора являются синхронными, если пренебречь эффектом «скольжения» во время пуска машины.

Частота вращения магнитного поля статора и ротора:

$$n_1 = n_2 = \frac{60f}{p}, \text{ об/мин}$$

где: f – частота тока в сети, Гц; p – число пар полюсов статора.

Современные синхронные машины имеют КПД около 90-95%.

5.8 Контрольные вопросы

- 1) Чем отличается генератор от электродвигателя?
- 2) Почему асинхронный двигатель называют «асинхронным»?
- 3) Из каких двух основных частей состоит машина переменного тока?
- 4) Почему частота вращения ротора ниже частоты вращения магнитного поля статора?
- 5) Как можно регулировать частоту вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
- 6) Для привода, каких устройств применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором?
- 7) Чем конструктивно статор синхронной машины отличается от статора асинхронной машины?
- 8) Для чего синхронной машине необходимо питание от источника постоянного тока?

6 МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

6.1 Общие сведения

Машины постоянного тока, по сравнению с машинами переменного тока, имеют более сложную конструкцию, но находят широкое применение в промышленности и быту. В настоящее время выпускаются два вида машин постоянного тока: генераторы и электродвигатели. Конструктивно эти два вида машин идентичны и могут быть обратимы. Единственное отличие между ними являются электрические характеристики, на которые они рассчитываются.

Машина постоянного тока состоит из двух основных частей: якорь и индуктор.

Якорь – это подвижная часть машины постоянного тока.

Индуктор – это не подвижная часть машины постоянного тока.

Упрощенная конструкция машины постоянного тока представлена на рисунке 6.1.

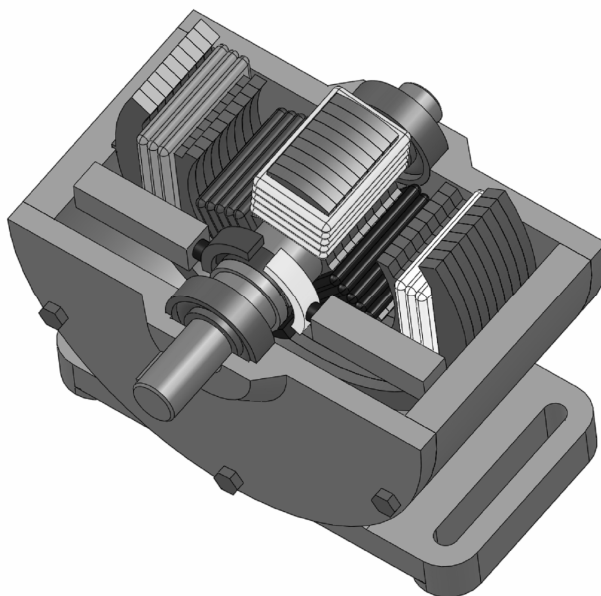
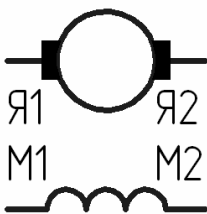
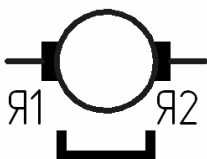


Рисунок 6.1 - Конструкция электродвигателя постоянного тока

Некоторые виды изготавливаемых машин постоянного тока, их условное графическое изображение и буквенно-цифровое обозначение представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Машин постоянного тока

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Машина постоянного тока с обмоткой возбуждения индуктора	М	
Машина постоянного тока с постоянными магнитами индуктора		

6.2 Конструкция машины постоянного тока

На рисунке 6.2 представлена конструкция якоря и индуктора машины постоянного тока.

Основной частью индуктора является стальной корпус 3, который в основании имеет монтажные отверстия 7 (см. рис. 6.2а). В некоторых случаях монтажные отверстия изготавливаются на боковой поверхности со стороны выходного вала. Так же на корпусе располагается клеммник 1, через который электрическая машина соединяется с питающей цепью постоянного тока. Внутри корпуса устанавливается магнитопровод 6. Часто роль магнитопровода выполняет сам корпус для экономии пространства. На магнитопровод 6 устанавливаются полюсные катушки 5. Полюсные катушки являются обмотками возбуждения индуктора. Также внутри корпуса располагаются два щеткодержателя 2, на которых крепятся графитовые щетки 4. Провода от щеток и полюсных катушек выведены в клеммник 1.

Основной частью якоря является стальной вал 8, на который устанавливается магнитопровод якоря 11 (см. рис. 6.2б) изготавливаемый из электротехнической стали. Магнитопровод имеет выступы или углубления, предназначенные для установки якорных обмоток 10 или медных пластин, называемых секциями. Медные пластины или якорные обмотки с одной стороны соединяются в одну общую точку, а с другой стороны соединяются с коллектором 9. Коллектор изготавливается из меди и изолируется от вала слоем диэлектрика. Секции якоря повернуты на некоторый угол по отношению к коллектору. Чем больше секций, тем меньше угол поворота. Коллектор контактирует со щетками индуктора и образует скользящий контакт.

Для обеспечения свободного вращения ротора относительно индуктора применяется подшипниковый узел, располагающийся на передней и задней крышке машины постоянного тока.

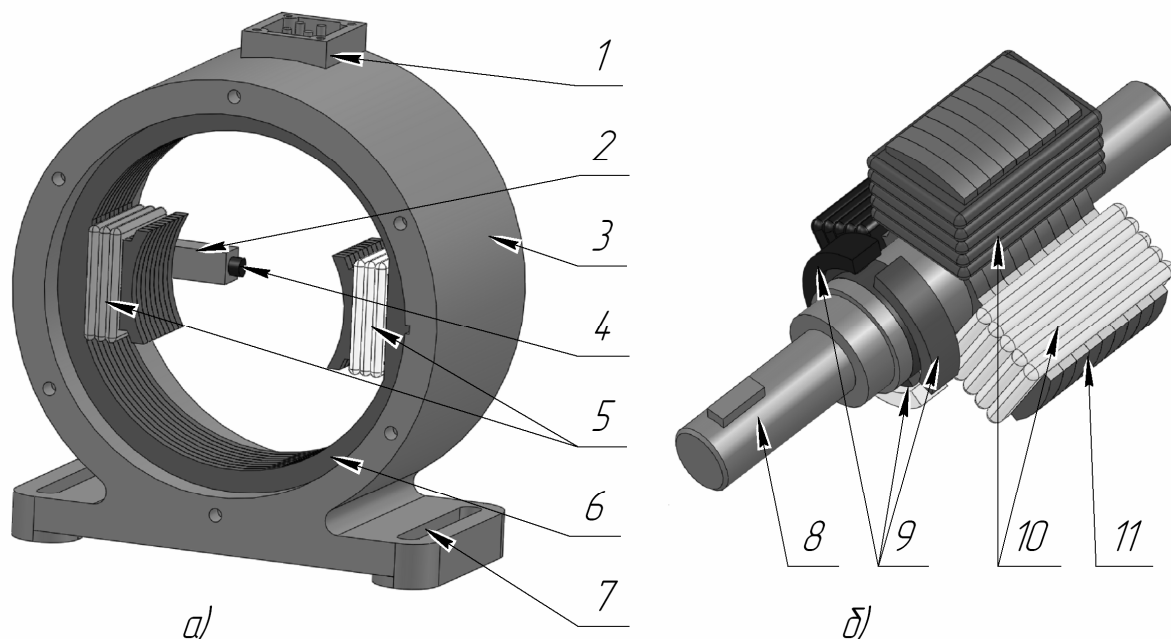


Рисунок 6.2 - а) конструкция индуктора (а) и якоря (б): 1 – клеммник; 2 – щеткодержатель; 3 – корпус; 4 – графитовые щетки 5 – полюсные катушки индуктора; 6 – магнитопровод индуктора; 7 – монтажные отверстия 8 – стальной вал; 9 – коллектор; 10 – секции (обмотки) якоря; 11 – магнитопровод якоря

Конструктивно индуктор может изготавливаться три различные конструкции:

- машины большой мощности (свыше 100 кВт) имеют дополнительные полюса, которые располагаются между полюсными катушками. Дополнительные полюса являются частью цепи якоря и применяются для улучшения работы двигателя;
- машины средней мощности (до 100 кВт) имеют на индукторе только полюсные катушки;
- машины малой мощности (до 100 Вт) имеют на индукторе постоянные магниты. Такие машины имеют сравнительно небольшие габариты, и располагать полюсные катушки не целесообразно.

6.3 Работа и подключение двигателя постоянного тока средней мощности

Для подключения машины постоянного тока необходимо соединить с питающей цепью постоянного тока соответствующие контакты клеммника. Клеммник обычно обладает четырьмя контактами (см. рис. 6.3). Два контакта

отвечают за подключение обмотки якоря и два контакта отвечают за подключение к сети обмотки индуктора.

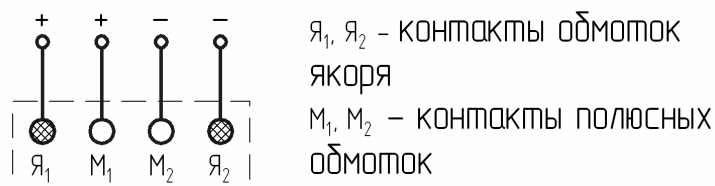


Рисунок 6.3 - Конструкция клеммника машины постоянного тока

Работа двигателя постоянного тока средней мощности показана на рисунке 6.4. Для упрощения понимания работы машины средней мощности используется только три секции на якоре.

По одному контакту индуктора и якоря имеют соединение с положительным и отрицательным потенциалом источника тока (см. рис. 6.4а). На одной полюсной катушке индуктора образуется северный полюс $N_{инд}$, а на другой катушке образуется южный полюс $S_{инд}$. Эти полюса остаются постоянными и создают постоянное магнитное поле. Так же секции якоря будут иметь контакт положительным и отрицательным потенциалом источника тока через щетки. Следовательно, на них также будет появляться северный $N_{якоря}$ и южный $S_{якоря}$ полюс якоря. Но эти полюса будут перескакивать с одной секции на другую в зависимости от контакта щеток с секциями коллектора.

В начальный момент времени в коллекторе в зацеплении со щетками взаимодействуют секция 1 и секция 2 (см. рис. 6.4б), секция 3 не имеет контакт со щетками, следовательно, по ней не протекает ток. Это приводит к появлению на секции 1 южного полюса $S_{якоря}$, а на секции 2 северного полюса $N_{якоря}$ при протекании через них тока. Взаимодействие между собой двух южных полюсов $S_{инд}$ и $S_{якоря}$ приведет их к взаимному отталкиванию друг относительно друга. Это отталкивание приведет к появлению крутящего момента, который будет приводить во вращение вал якоря.

При повороте на некоторый угол контакт щетки с секцией 2 исчезнет, и щетка перейдет в зацепление с секцией 3 (см. рис. 6.4в). На секции 3 появится северный полюс $N_{якоря}$. Контакт второй щетки с секцией 1 сохранится, следовательно, на ней останется южный полюс $S_{якоря}$. Взаимодействие двух северных полюсов $N_{якоря}$ и $N_{инд}$, что так же вызовет их взаимное отталкивание. Это приведет к сохранению крутящего момента, который продолжит вращать якорь в прежнем направлении (см. рис. 6.4г).

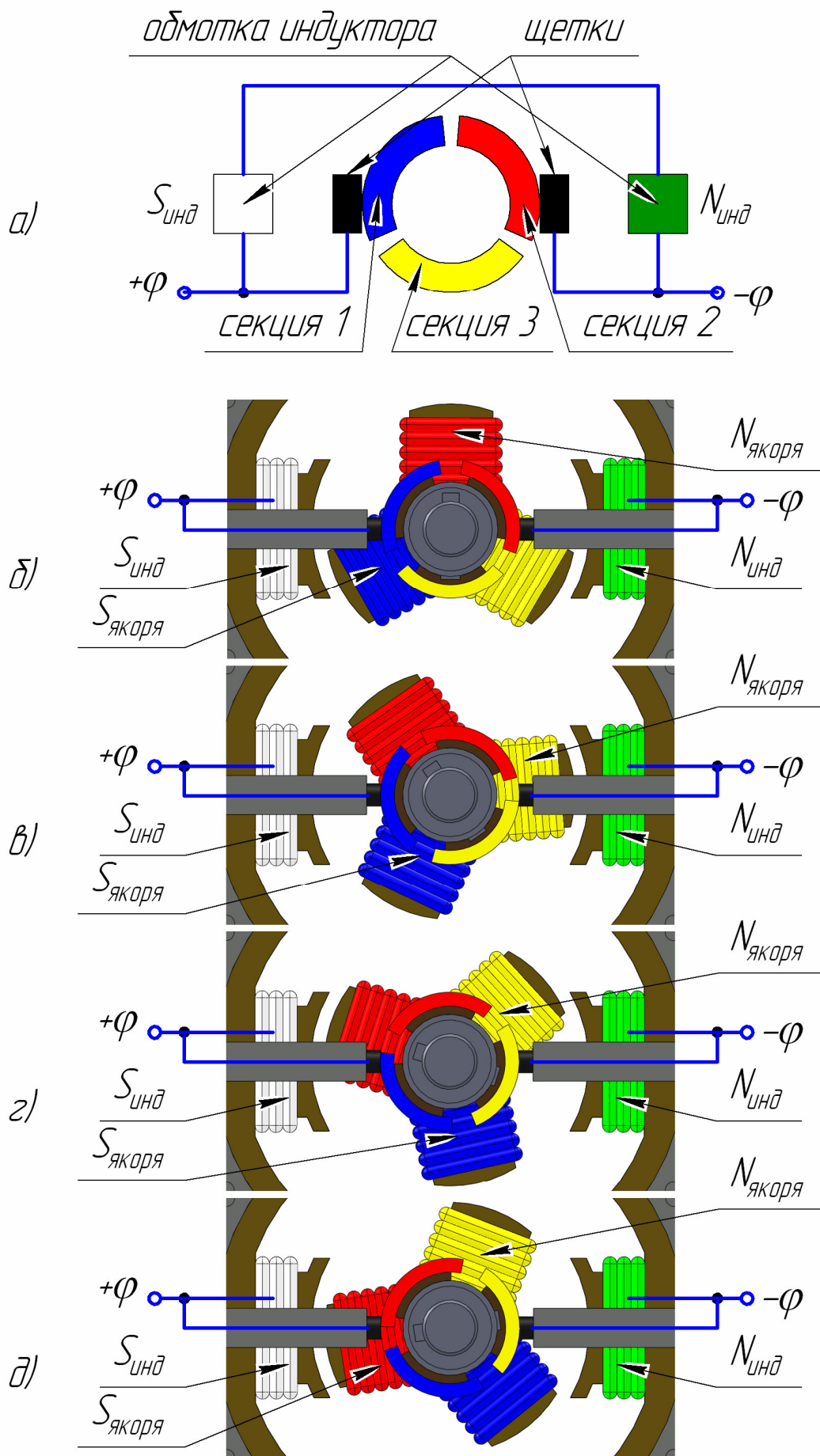


Рисунок 6.4 – Работа двигателя постоянного тока

После поворота на некоторый угол под действием крутящего момента из зацепления со щеткой выйдет секция 1, и контакт щетки перейдет на секцию 2 (см. рис. 6.4д). Секция 1 обесточится, а на секции появится южный полюс $S_{\text{инд}}$. Взаимодействие двух южных полюсов $S_{\text{инд}}$ и $S_{\text{якоря}}$ приведет их к взаимному отталкиванию. И цикл повторится вновь.

6.4 Крутящий момент двигателя постоянного тока и его КПД

Для определения крутящего момента на валу двигателя постоянного тока необходимо знать мощность, потребляемую обмоткой якоря и частоту вращения вала якоря. Крутящий момент на валу электродвигателя:

$$M = \frac{30P_{\text{я}}}{\pi \cdot n}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где: $P_{\text{я}}$ – мощность потребляемая якорем, Вт; n – частота вращения вала двигателя, об/мин.

Чем больше нагрузка на валу электродвигателя, тем больше мощности потребляет якорь, следовательно, выше крутящий момент на валу.

Благодаря тому, что в момент пуска на валу появляется большой крутящий момент, данные машины находят применение в приводе металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением, в подъемно транспортных устройствах, электроавтомобилях и других видах транспорта. Появление крутящего момента вовремя пуска двигателя постоянного тока является преимуществом перед двигателями переменного тока.

КПД двигателя постоянного тока может достигать 80%.

6.5 Контрольные вопросы

- 1) Из каких двух основных частей состоит машина постоянного тока?
- 2) Для чего в машине постоянного тока применяют коллектор?
- 3) От чего зависит частота вращения вала машины постоянного тока?
- 4) В каких случаях машина постоянного тока имеет только два контакта в клеммнике?
- 5) Почему двигатель постоянного тока может работать как генератор постоянного тока?
- 6) Из каких деталей состоит машина постоянного тока?
- 7) Для привода каких устройств применяются двигатели постоянного тока?

7 ЭЛЕКТРОПРИВОД

7.1 Общие сведения

Электропривод – совокупность устройств, предназначенных для преобразования электрической энергии в механическую энергию с возможностью регулирования преобразованной энергии.

Электропривод является наиболее распространённым типом привода.

Электропривод в настоящее время хорошо развит и широко распространён. Широкое распространение электроприводу дало развитие электроники, которое было связано с появлением и развитием микросхем и других устройств хранения и обработки информации. Это позволило создать и обучить роботизированные комплексы, которые повсеместно применяются на производстве.

Электропривод применяется:

- в качестве приводных устройств регулирования потока жидкости или газа (см. рис. 8.1а), где электродвигатель *M2* закрывает или открывает вентиль 4;
- в качестве силовой установки пневмо- гидронасосов (см. рис. 7.1а), где электродвигатель *M1* вращает лопасти насоса 2;
- в качестве силовой установки в механических передачах (см. рис. 7.1б), где двигатель *M1* приводит в движение передачу винт-гайка, вследствие чего груз 7 способен совершать вперед и назад;
- в качестве силового агрегата в электроавтомобилях;
- в качестве приводных устройств в роботах, например, разгибание и сгибание фаланг пальцев и других суставов;
- в качестве силовых агрегатов в экзоскелетах для людей с ограниченными возможностями и др.

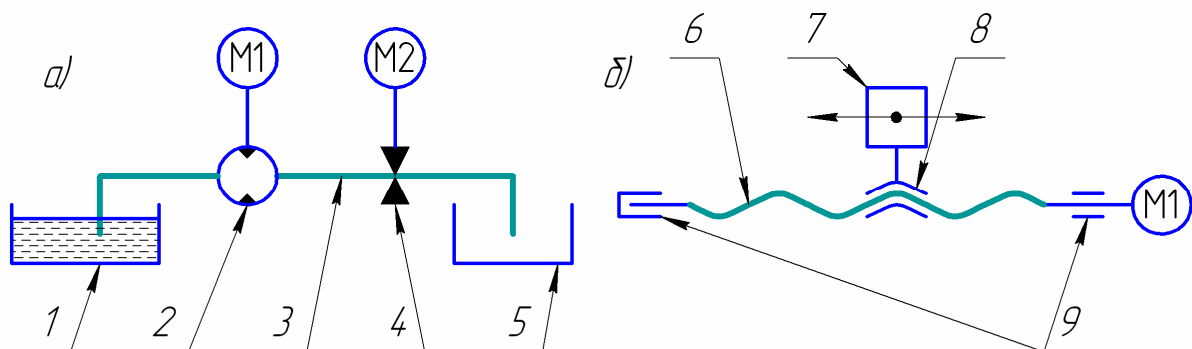


Рисунок 7.1 – Различные виды приводов: 1 – ёмкость с водой; 2 – гидронасос; 3 – труба; 4 – вентиль (водопроводный кран); 5 – пустая емкость; 6 – винт; 7 – груз; 8 – гайка; 9 – подшипники

Но просто собрать привод не достаточно, зачастую им нужно управлять вручную или автоматически. Автоматическое управление приводом связано с

применение всевозможных датчиков и устройств обработки этой информации. А ручное управление черпает свои силы из навыков и практики разумных существ.

Управление приводом связано с применением двух различных систем, которые отвечают за два вида манипуляций. Это механическая и электрическая система. Обе эти системы отвечают за два процесса:

- изменение направления вращения – *реверсирование*;
- изменение частоты вращения.

Обе эти операции могут быть выполнены механическими устройствами и электрическими параметрами. В механике эти два процесса выполняются на промежутке между двигателем и исполнительным устройством. В механике для изменения частоты вращения применяют коробки передач или редукторы, а для реверсирования применяют реверсивные устройства. В электротехнике эти два процесса выполняются на промежутке между источником тока и электродвигателем.

7.2 Реверсирование двигателей постоянного и переменного тока

На рисунке 7.2 представлена схема реверсирования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором питаемого от трехфазной сети. Для реверсирования применяется двух позиционный трехполюсный переключатель $SA1$, который располагается между двигателем $M1$ и генератором $G1$ переменного тока. Для реверсирования трехфазного двигателя необходимо поменять местами контакты питания любых двух фаз. На схеме приведен пример, на котором меняются местами фаза A и фаза B . В одном положении переключатель $SA1$ замыкает попарно контакты фаз $A-A$, $B-B$ и $C-C$, в другом положении $A-B$, $B-A$ и $C-C$. Такая схема реверсирования трех фазного двигателя широко применяется на производстве. Помимо переключателей может использоваться блок реле.

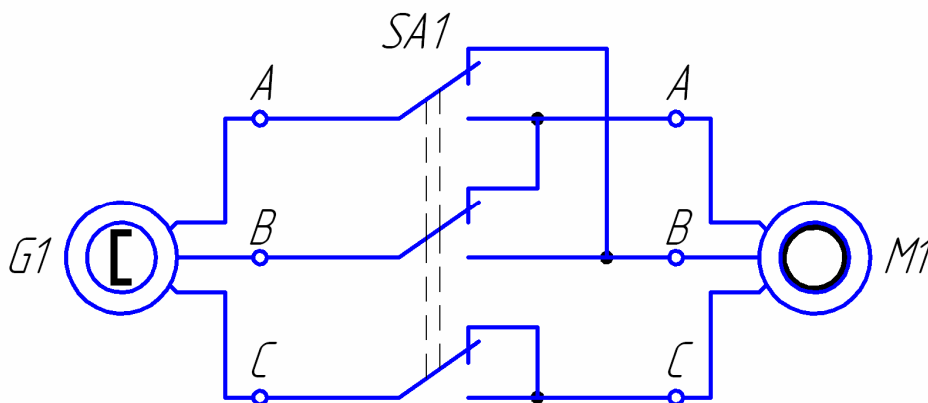


Рисунок 7.2 – Реверсирование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Для реверсирования двигателя постоянного тока применяется схема с использованием двухполюсного двух позиционного переключателя $SA1$ (см. рис. 7.3). В данном случае переключатель располагается между обмоткой якоря двигателя $M1$ и источником постоянного тока $GB1$. Обмотка возбуждения индуктора подключается напрямую к источнику тока. Для реверсирования двигателя постоянного тока необходимо поменять местами контакты питания или якоря или индуктора. В одном положении переключатель соединяет попарно контакты $\langle +\varphi \rangle - \langle Я2 \rangle$ и $\langle -\varphi \rangle - \langle Я1 \rangle$, в другом случае $\langle +\varphi \rangle - \langle Я1 \rangle$ и $\langle -\varphi \rangle - \langle Я2 \rangle$. Если изменить полярность питания сразу на индукторе и якоре, то реверсирования не произойдет, так как одновременно поменяются местами полюса индуктора и якоря. Следовательно, направление вращения сохранится.

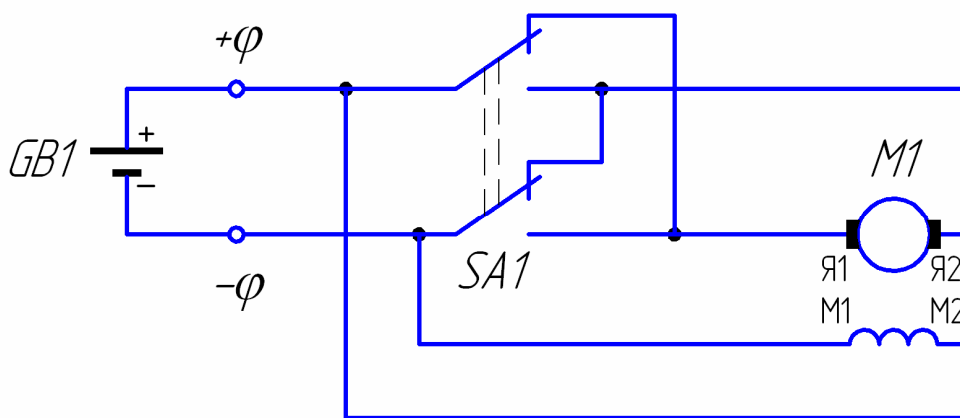


Рисунок 7.3 – Реверсирование двигателя постоянного тока

7.3 Регулирование частоты вращения двигателей постоянного и переменного тока

Как отмечалось ранее для изменения частоты вращения двигателя переменного тока необходимо изменить число пар полюсов или поменять частоту тока с сети. Эти два параметра являются постоянными, так как число пар полюсов закладывается в двигатель при его сборке, а частота тока в сети неизменна. Это является недостатком данного типа двигателей.

Для устранения этого недостатка применяются частотные регуляторы (см. рис. 7.4). Частотные регуляторы состоят из трех основных частей: преобразователя переменного тока в постоянный, преобразователя постоянного тока в переменный и блока управления. Преобразователь переменного тока преобразует переменный трехфазный ток идущий от генератора $G1$ в постоянный ток с использованием выпрямителя. Преобразователь постоянного тока в переменный, совершает обратное преобразование, но с частотой тока, которую задает блок управления. Далее преобразованный ток поступает на трехфазный двигатель $M1$.

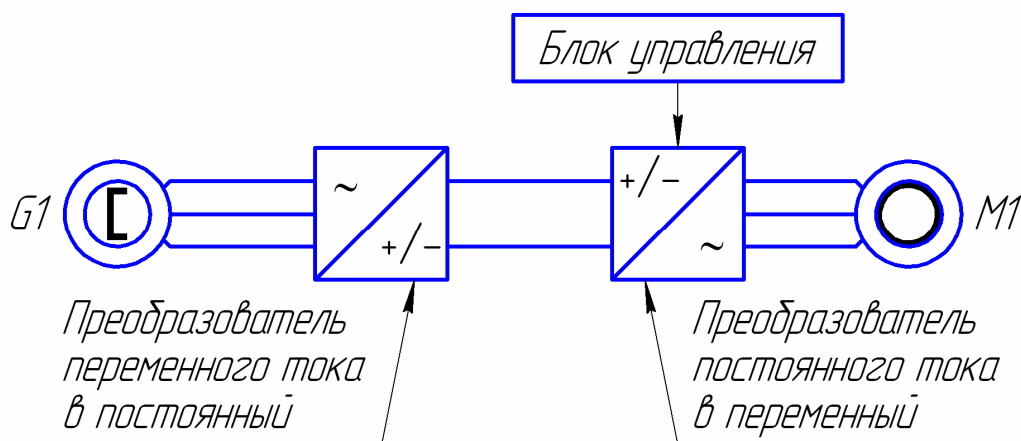


Рисунок 7.4 – Частотный регулятор

Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока не требует сложных и дорогостоящих устройств, как частотный регулятор. Для изменения частоты вращения достаточно поместить переменные резисторы $R1$ и $R2$ последовательно с обмоткой якоря и индуктора (см. рис. 7.5). Увеличение сопротивления резистора $R1$ приведет к уменьшению тока якоря, в результате частота вращения начнет уменьшаться. Увеличение сопротивления резистора $R2$ приведет к уменьшению тока индуктора, в результате частота вращения начнет увеличиваться. Уменьшение тока в цепи индуктора не рекомендуется, так как это может привести к разрушению двигателя.

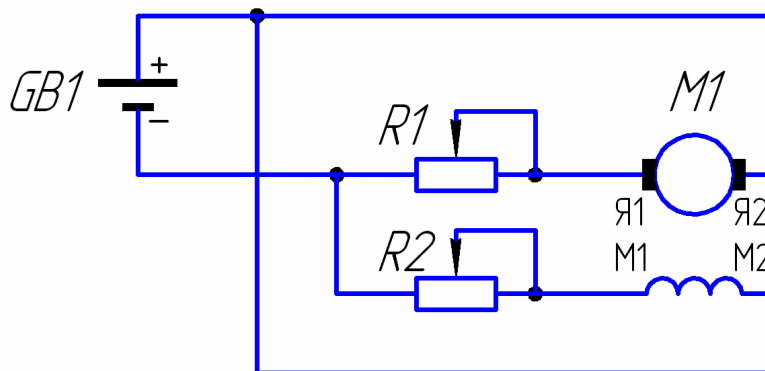


Рисунок 7.5 – Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока

7.4 Контрольные вопросы

- 1) Что такое электропривод?
- 2) Для чего применяется электропривод?
- 3) Как можно реверсировать двигатель постоянного и переменного тока?
- 4) Для чего применяются частотные регуляторы?
- 5) Как можно регулировать частоту вращения якоря машины постоянного тока?

8 ПОЛУПРОВОДНИКИ

8.1 Электропроводность полупроводников

Полупроводники – это материалы, которые обладают односторонней электропроводимостью.

В электронике для создания полупроводниковых структур получили широкое распространение такие материалы как кремний, германий и арсенид галлия. Рассмотрим один из этих материалов.

Кремний находится в IV группе периодической системы элементов Менделеева, следовательно, на внешнем энергетическом уровне располагается четыре электрона. Эти четыре электрона образуют связи с электронами соседних атомов кремния (см. рис. 8.1а). В результате кристаллическая решетка кремния имеет простую конструкцию.

Существует два вида электрической проводимости полупроводников: *собственная* и *примесная* проводимость.

Собственная электрическая проводимость возникает в полупроводнике при увеличении температуры кристаллической решетки и при её деформации в результате внешнего воздействия. В этом случае часть электронов могут потерять связь со своим атомом. Электроны, потерявшие свое место в кристаллической решетке, называются *свободными электронами*. Свободные электроны способны перемещаться по всей кристаллической решетке. Место, из которого выпал электрон, становится незаполненным энергетическим уровнем, которое так же называют *дыркой*. Процесс, при котором происходит образование свободных электронов и дырок или пары «электрон-дырка» называется *генерацией* (см. рис. 8.1б).

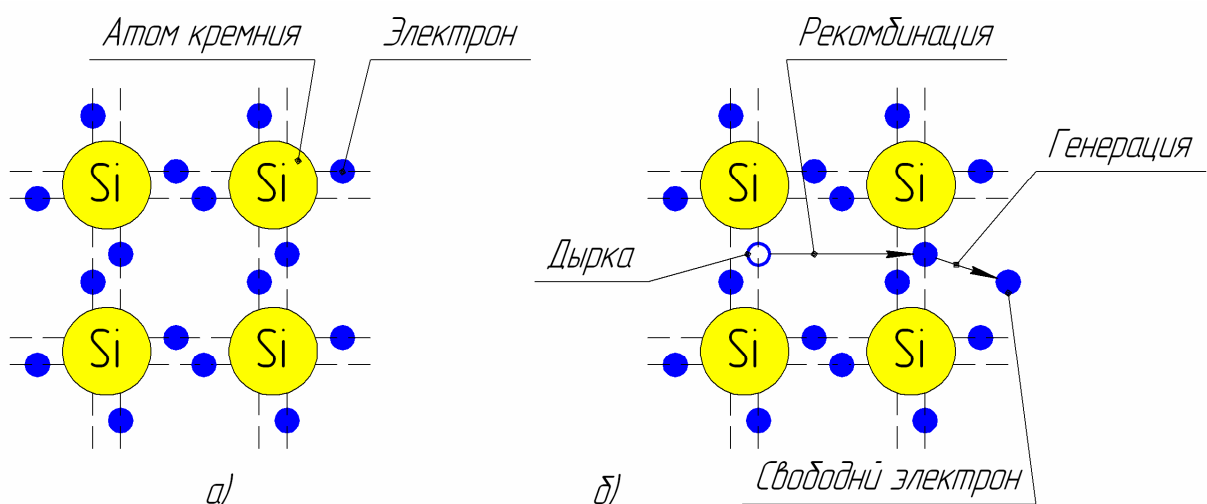


Рисунок 8.1 – Собственная электропроводность полупроводников

Незаполненные уровни кристаллической решетки приобретают положительный заряд и начинают активно притягивать к себе электроны. При

этом дырка может притянуть к себе электрон соседнего атома. Процесс, при котором электрон заполняет незаполненный энергетический уровень, называется *рекомбинацией*. Таким образом, дырки, так же как и электроны, способны перемещаться по кристаллической решетке. Процессы генерации и рекомбинации обеспечивают токовую проводимость структуры полупроводника.

Примесная электропроводность полупроводников обеспечивается введением в кристаллическую решетку атомов других материалов. Такие атомы называются *донорами* и *акцепторами*.

Донор – это примесный атом, который создает в кристаллической решетке избыток электронов. В качестве донора может выступать атом сурьмы. Сурьма находится в V группе периодической системы элементов Менделеева, следовательно, у атома сурьмы пять электронов на внешнем энергетическом уровне. При внедрении атома сурьмы в кристаллическую решетку кремния, четыре электрона найдут себе связи с атомами кремния, а один электрон останется свободным (см. рис. 8.2а). Чем больше атомов сурьмы внедряется в кристаллическую решетку кремния, тем выше концентрация свободных электронов.

Акцептор – это примесный атом, который создает в кристаллической решетке дефицит электронов. В качестве акцептора может выступать атом индия. Индий находится в III группе периодической системы элементов Менделеева, следовательно, у атома индия три электрона на внешнем энергетическом уровне. При внедрении атома индия в кристаллическую решетку кремния, все три электрона найдут себе связи с атомами кремния, но появится один незаполненный энергетический уровень (см. рис. 8.2б). Чем больше атомов индия внедряется в кристаллическую решетку кремния, тем выше концентрация дырок.

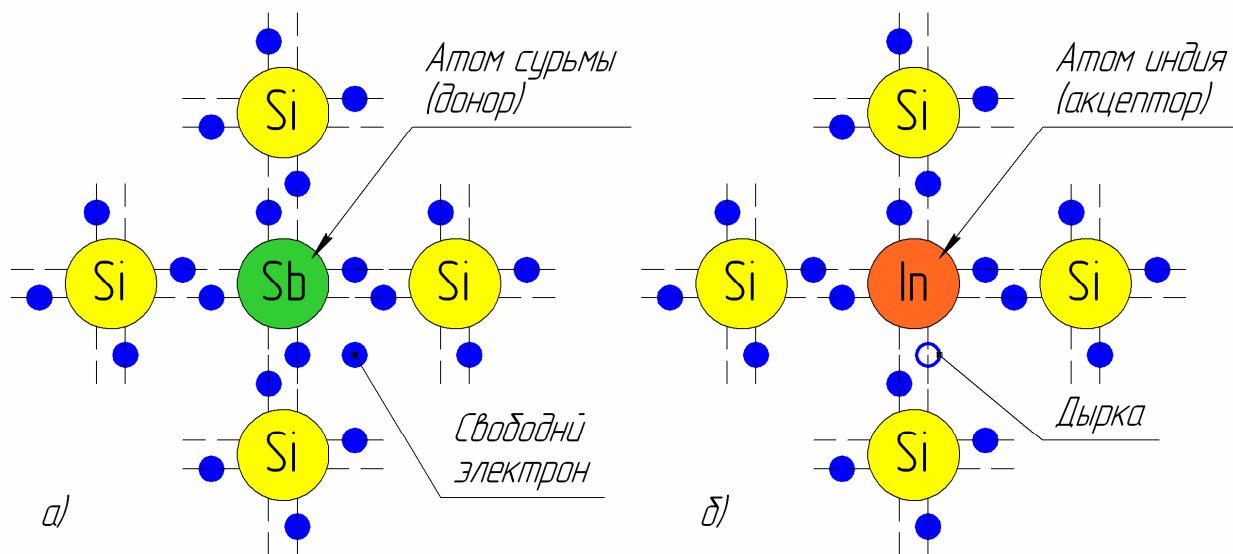


Рисунок 8.2 – Примесная электропроводность полупроводников

Донорный примесный атом приводит к тому, что полупроводник приобретает электронный тип проводимости, обозначаемый буквой N (negative). Полупроводник приобретает проводимость N-типа.

Акцепторный примесный атом приводит к тому, что полупроводник приобретает дырочный тип проводимости, обозначаемый буквой P (positive). Полупроводник приобретает проводимость P-типа.

8.2 Электрические переходы

Взаимодействие полупроводников с разными типами проводимости между собой или с металлом приводит к образованию электрических переходов.

Электрический переход – это граничный слой между областями, физические характеристики которых существенно отличаются между собой.

Различают следующие виды электрических переходов:

- *электронно-дырочный* или *P-N переход* – это переход между двумя полупроводниками с разным типом проводимости;
- *металл-полупроводник* – это переход, возникающий в месте контакта металла со структурой полупроводника;
- переход между областями полупроводников с одним типом проводимости, но с разной концентрацией примесей.

8.3 Электронно-дырочный переход

Работа большинства полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров и других) основана на процессах возникающих между областями полупроводников с разными типами проводимости. Отличным примером служит электронно-дырочный переход.

Для образования P-N перехода необходимо взять две области с P-типом и N-типом проводимости. Каждая, из которых обладает своей концентрацией носителей заряда. В области с P-типом проводимости носителями заряда выступают дырки, а в области с N-типом – электроны. При соприкосновении двух областей с P-типом и N-типом проводимости возникнет процесс под названием диффузия (см. рис. 8.3а).

Диффузия – это процесс перемещения носителей заряда из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией.

Электроны из области N-типом проводимости устремятся в область с P-типом проводимости, где будет происходить активная рекомбинация носителей заряда. Диффузия будет приводить к постепенному уменьшению концентрации свободных носителей заряда в обеих областях.

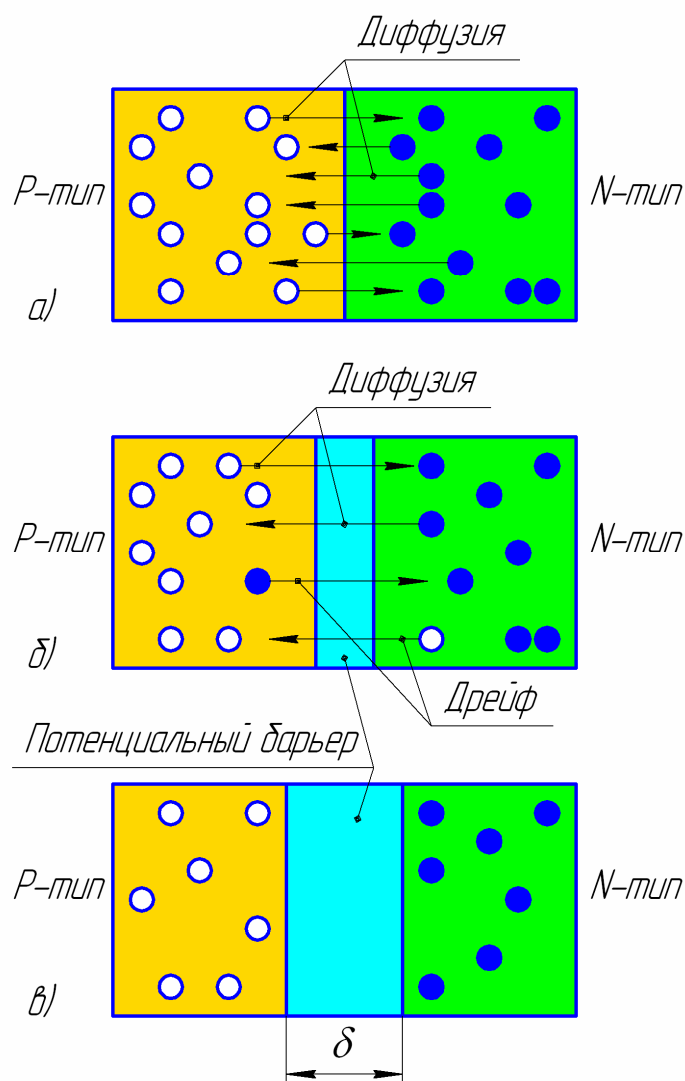


Рисунок 8.3 – Образование P-N перехода

Через некоторое время в пограничной зоне между областями P-типа и N-типа начнет возникать область потенциального барьера (см. рис. 8.3б).

Потенциальный барьер – это область, возникающая между областями с разным типом проводимости, в которой нет свободных носителей заряда.

Чем интенсивней процесс диффузии, тем больше происходит процессов рекомбинации и тем выше процесс образования потенциального барьера. С увеличением области потенциального барьера интенсивность процесса диффузии начнет постепенно уменьшаться. Возникнет незначительный процесс дрейфа носителей заряда.

Дрейф – это процесс обратного перемещения носителей заряда, приводящий к увеличению концентрации носителей заряда в областях P-типа и N-типа проводимости.

Во время дрейфа носители заряда, не прошедшие процесс рекомбинации перебрасываются обратно в область, из которой пришли под воздействием диффузии.

Через некоторое время ширина потенциального барьера δ увеличится настолько что электроном и дыркам не хватит энергии преодолеть её. Процессы диффузии и дрейфа прекратятся см. рис. 8.3в). Эту стадию можно считать последней в процессе образования P-N перехода. Ширина потенциального барьера будет зависеть от концентрации примесей в обеих областях P-N перехода.

8.4 Прямое и обратное включение P-N перехода

Важнейшее свойство P-N перехода проявляется при его прямом и обратном включении, которое определяет его роль в полупроводниковых приборах. Для правильного определения свойства P-N перехода необходимо отдельно рассмотреть процесс возникающие при его прямом и обратном подключении к источнику постоянного тока.

После того как процесс образования P-N перехода завершился, в каждой из областей установилась своя концентрация носителей заряда, и между областями P и N возник потенциальный барьер некоторой ширины δ (см. рис. 8.4а). Так же потенциальный барьер приобретет некоторое внутренне сопротивление.

Для того чтобы P-N перехода имел прямое включение или был смещен в прямом направлении, необходимо область с P-типом проводимости подключить к положительному потенциалу $+\varphi$, а область с N-типом проводимости подключить к отрицательному потенциалу $-\varphi$ (см. рис. 8.4б). В этом случае часть электронов из области потенциального барьера, граничащей с областью P-типа, уйдет в сторону положительного потенциала. Аналогичная ситуация произойдет с дырками в приграничной области N-типа, которые уйдут в сторону отрицательного потенциала. Взамен ушедшим электронам и дыркам в область P-типа придут дырки, а в область N-типа придут электроны. Это приведет к увеличению концентрации свободных носителей в каждой области, что приведет к уменьшению ширины потенциального барьера до некоторого значения $\delta_{пр}$.

Уменьшение ширины потенциального барьера приведет к уменьшению внутреннего сопротивления и повышению интенсивности диффузии носителей заряда между областями P-типа и N-типа. Чем выше разность потенциалов между областями P-типа и N-типа, тем меньше ширина потенциального барьера и тем выше интенсивность диффузии. При прямом включении P-N переход будет находиться в открытом состоянии, следовательно, через P-N переход будет протекать электрический ток.

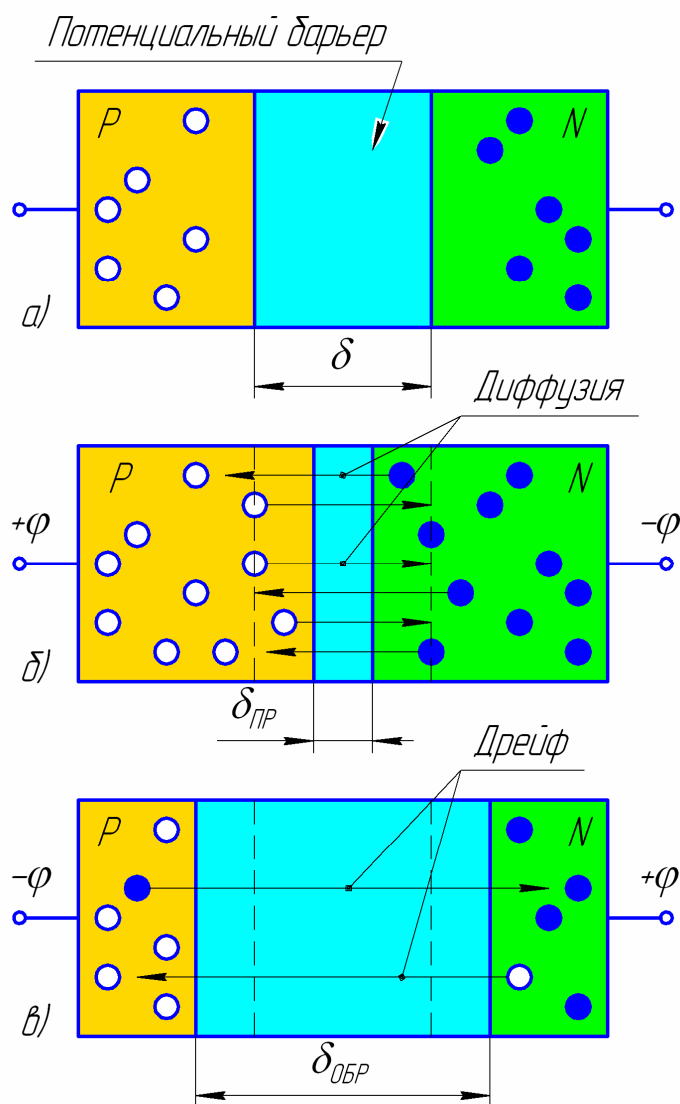


Рисунок 8.4 – Прямое и обратное включение P-N перехода

Для того чтобы P-N перехода имел обратное включение или был смещен в обратном направлении, необходимо область с P-типом проводимости подключить к отрицательному потенциалу $-\varphi$, а область с N-типом проводимости подключить к положительному потенциалу $+\varphi$ (см. рис. 8.4в). В этом случае из области P-типа будут уходить дырки в сторону отрицательного потенциала, а из области N-типа начнут уходить электроны в сторону положительного потенциала. Это приведет к снижению концентрации носителей заряда в каждой из областей и увеличению ширины потенциального барьера до некоторого значения $\delta_{обр}$.

Увеличение ширины потенциального барьера приведет к увеличению внутреннего сопротивления, что приведет появлению незначительного дрейфового тока, величина которого будет стремиться к «нулю». Чем выше разность потенциалов между областями P-типа и N-типа, тем больше ширина потенциального барьера и тем выше внутреннее сопротивление потенциального

барьера. При обратном включении P-N переход будет находиться в закрытом состоянии, следовательно, через P-N переход не будет протекать электрический ток.

Электронно-дырочный переход является выпрямительным переходом, так как способен пропускать ток только в одном направлении.

8.5 Пробой P-N перехода

Различают обратимые и необратимые пробой P-N перехода.

Обратимый пробой – это пробой, который не приводит к разрушению внутренней структуры полупроводника, следовательно, P-N переход сохраняет свою работоспособность.

Необратимый пробой – это пробой, который приводит к полному или частичному разрушению внутренней структуры полупроводника, вследствие чего P-N переход теряет свои выпрямительные свойства.

Существует четыре вида пробоев P-N перехода: *лавинный*, *туннельный*, *тепловой* и *поверхностный* пробой. Лавинный и туннельный пробой относятся к обратимым пробоям, а тепловой и поверхностный к необратимым пробоям.

Лавинный пробой происходит в полупроводниках со значительной шириной потенциального барьера при обратном включении P-N перехода (см. рис. 8.5а). Во время лавинного пробоя электрон, находящийся в области P-типа, приобретает некоторую энергию и теряет связь с атомом. Этот электрон переходит в свободное состояние и начинает движение в сторону потенциального барьера. Обладая высокой энергией, электрон начинает ударяться в другие электроны и выбивать их из кристаллической решетки и передает им часть своей энергии. Образовавшиеся свободные электроны продолжают движение по потенциальному барьеру в сторону области N-типа. Во время своего движения электроны переводят в свободное состояние другие электроны, и процесс нарастает лавинообразно. В результате лавинного пробоя сопротивление потенциального барьера уменьшается и через P-N переход начинает протекать обратный ток $I_{\text{ОБР}}$.

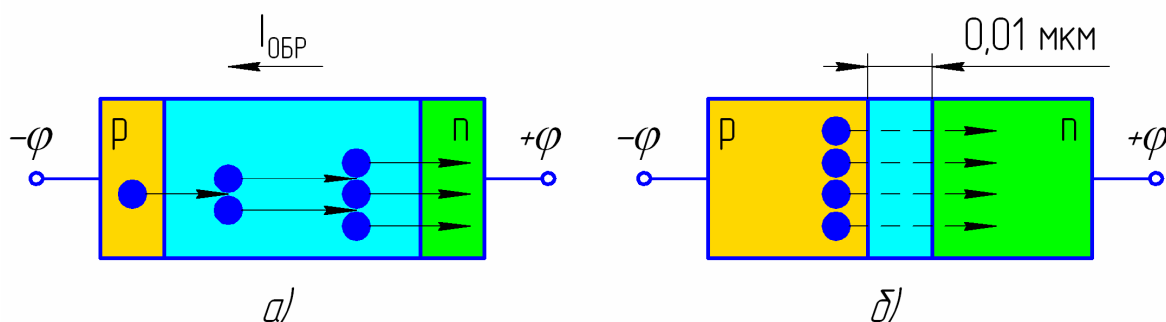


Рисунок 8.5 – Пробой P-N перехода

Туннельный пробой, так же как и лавинный пробой, происходит при обратном включении P-N перехода (см. рис. 8.5б). Только в данном случае имеет место незначительная ширина потенциального барьера P-N перехода. Это возможно в том случае, когда концентрация носителей заряда в каждой области очень велика. Во время туннельного пробоя электроны из области P-типа просачиваются через потенциальный барьер под воздействием обратного напряжения. В результате туннельного пробоя сопротивление потенциального барьера уменьшается и через P-N переход начинает протекать обратный ток $I_{\text{ОБР}}$.

Тепловой пробой происходит в том случае, когда через P-N переход протекает ток, величина которого превышает величину, которую может пропустить через себя P-N переход. В результате структура полупроводника нагревается и электроны, имеющие связи со своими атомами, приобретают энергию и начинают переходить в свободное состояние. Это может привести к разрыву всех связей между электронами и атомами. Для предотвращения образования теплового пробоя необходимо следить за величиной протекающего тока. Тепловой пробой характерен для прямого и обратного включения P-N перехода.

Поверхностный пробой проявляется в том случае, когда внешняя поверхность P-N перехода подвергается воздействию разного рода загрязнений. Внешние загрязнения способны создавать токопроводящие каналы. В результате электроны будут перемещаться не через потенциальный барьер, а через внешнюю поверхность. Между загрязнением и структурой полупроводника возникнет диффузия, которая приведет к разрушению структуры полупроводника. Для предотвращения поверхностного пробоя, полупроводник покрывают слоем диэлектрика.

8.6 Контакт «металл-полупроводник»

Контакт «металл-полупроводник» способен давать два вида переходов: выпрямляющий и не выпрямляющий.

Выпрямляющий переход применяется в диодах Шоттки, когда при контакте металла с одним из типов электропроводимости образуется потенциальный барьер, препятствующий прохождению тока в одном направлении.

Не выпрямляющий переход так же называют омическим переходом.

Омический переход – это переход, который образуется при контакте металла с полупроводником, при этом переход способен пропускать ток при прямом и обратном включении.

Омическим переход называют потому, что его вольт-амперная характеристика представляет собой прямую линию. Так же сопротивление омического перехода минимально.

Главной задачей омического перехода является связь полупроводникового элемента с внешней электрической цепью.

8.7 Контрольные вопросы

- 1) Что такое полупроводники?
- 2) Какие материалы относятся к полупроводникам?
- 3) Какой проводимостью обладают полупроводниковые материалы?
- 4) Чем отличается генерация от рекомбинации носителей заряда?
- 5) Источниками, каких зарядов являются доноры и акцепторы?
- 6) Какие бывают виды электрических переходов?
- 7) Чем отличается прямое и обратное включение P-N перехода?
- 8) Какие существуют виды пробоев P-N перехода?
- 9) Чем отличаются обратимые и необратимые пробои?
- 10) Что такое омический переход?
- 11) Чем отличается диффузия от дрейфа носителей заряда?
- 12) Что такое потенциальный барьер?

9 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

9.1 Общие сведения

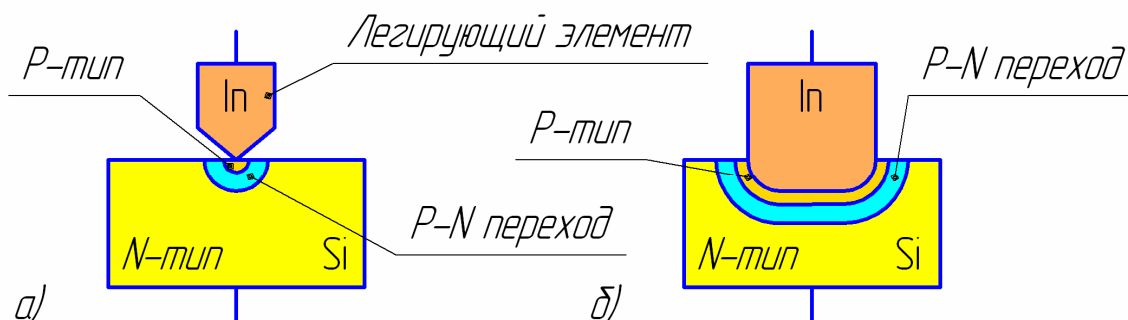
Полупроводниковый диод – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим переходом и двумя контактами.

В диодах выпрямляющий переход может быть «электронно-дырочным» переходом (P-N переход), или контакт «металл-полупроводник», обладающий выпрямительным свойством. Основное распространение получили диоды с P-N переходом, так как их выпрямительные свойства лучше поддаются контролю при производстве диодов.

В зависимости от геометрических размеров P-N перехода диоды бывают *плоскостными* и *точечными*.

Точечный контакт между двумя областями полупроводника получается путем прижатия легирующего элемента к полупроводниковому элементу (см. рис. 9.1а). Площадь такого контакта может быть около 1мм^2 . Такой вид соединения применяется для изготовления слаботочных диодов.

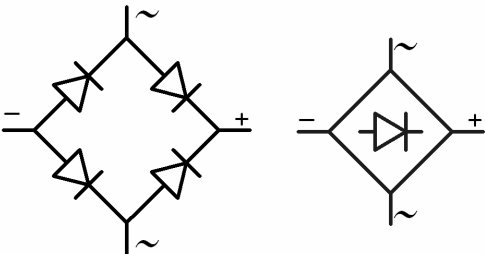
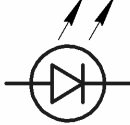
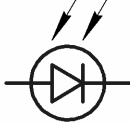
Плоскостной контакт между двумя областями полупроводника изготавливают методом сплавления легирующего элемента и полупроводникового элемента (см. рис. 9.1б). Площадь такого контакта может достигать 10см^2 . Такой вид соединения применяется для изготовления диодов работающих в высоковольтных сетях.



9.1 – Конструктивное исполнение P-N перехода диодов

На производстве изготавливают различные диоды, каждый из которых находит свое применение, так как обладает только ему присущими характеристиками. Некоторые виды изготавливаемых диодов, их условное графическое изображение и буквенно-цифровое обозначение представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Диоды

Наименование	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Выпрямительный диод	VD	
Диодный мост	VD1 – 4	
Стабилитрон	VD	
Светодиод	HL	
Фотодиод	BL	

9.2 Выпрямительный диод

Выпрямительный диод – это полупроводниковый прибор с односторонней проводимостью электрического тока. Односторонняя проводимость возникает вследствие создания «электронно-дырочного» перехода в полупроводнике или в контакте «металл-полупроводник».

Изготовление выпрямительного диода начинается путем сплавления легирующего элемента 4 в кристалл кремния 3, образующие выпрямительный P-N переход диода (см. рис. 9.2). Образовавшийся P-N переход устанавливают в кристаллодержатель 2, соединяющийся с контактом катода 1. Для защиты от внешнего воздействия P-N переход закрывают крышкой 6, которая соединяется с кристаллодержателем 2. В крышку устанавливается стеклянная втулка 7, контактирующая с контактом анода 8. Стеклянная втулка обеспечивает диэлектрическую связь между анодом и катодом. Контакт анода соединяется с пружинным контактом 5, который соприкасается с легирующим элементом 4. Пружинный контакт необходим для компенсации температурного расширения во время протекания через P-N переход тока, значение которого приближено к максимально допустимому значению.

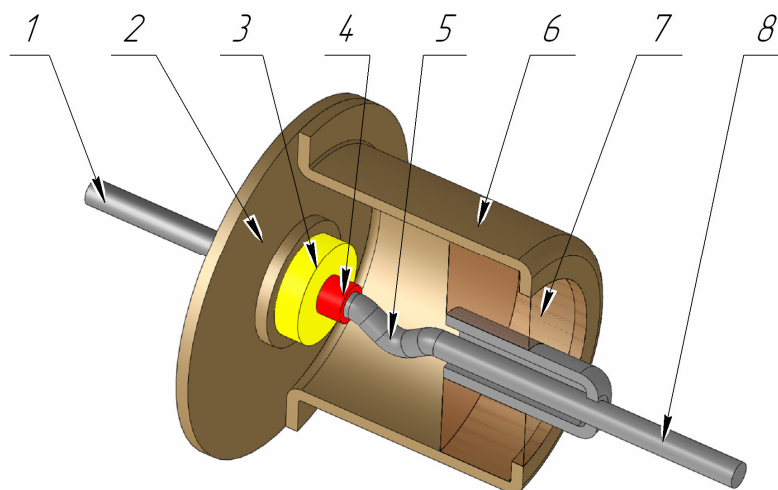


Рисунок 9.2 – Конструкция выпрямительного диода: 1 – контакт катода, 2 – кристаллодержатель, 3 – кристалл с N-типом проводимости; 4 – кристалл с P-типом проводимости, 5 – пружинный контакт, 6 – металлическая крышка, 7 – стеклянная втулка, 8 контакт анода

При подключении к аноду положительного потенциала, а к катоду отрицательного потенциала внутреннее сопротивление диода уменьшится до некоторой величины, и через диод будет протекать ток. При подключении к аноду отрицательного потенциала, а к катоду положительного потенциала то внутреннее сопротивление диода увеличится до нескольких сотен МОм, и через диод практически не будет протекать ток.

На рисунке 9.3 представлена вольт-амперная характеристика выпрямительного диода, где отражается работа диода при прямом и обратном включении. Из ВАХ выпрямительного диода можно выявить ряд характеристик.

Максимально допустимый прямой ток $I_{\text{пр макс}}$ – максимально допустимое значение тока протекающего через выпрямительный диод. Превышение данного значения приводит к тепловому пробое структуры P-N перехода.

Номинальный прямой ток $I_{\text{пр ном}}$ – рабочее значение прямого тока, при котором P-N переход сохраняет свою работоспособность в течение длительного времени без перегрева структуры полупроводника.

Номинальное прямое напряжение $U_{\text{пр ном}}$ – рабочее значение прямого напряжения, обеспечивающего протекание через P-N переход номинального прямой ток.

Номинальный обратный ток $I_{\text{обр ном}}$ – рабочее значение обратного тока, при котором P-N переход сохраняет свою работоспособность в течение длительного времени без перегрева структуры полупроводника.

Номинальное обратное напряжение $U_{\text{обр ном}}$ – рабочее значение обратного напряжения, обеспечивающего протекание через P-N переход номинального обратного ток.

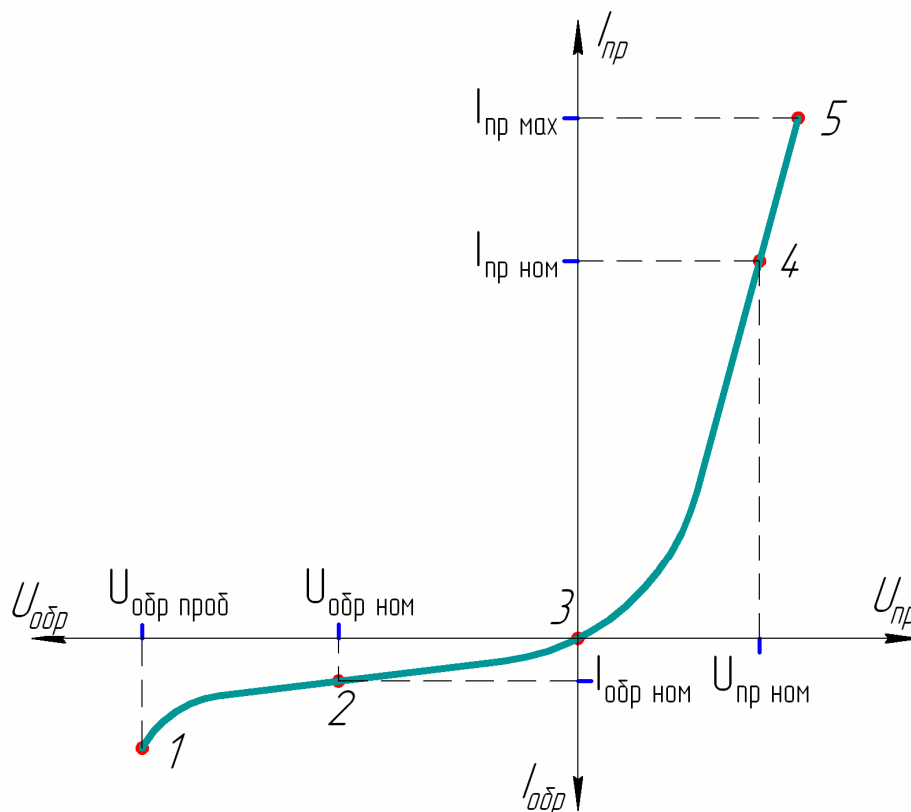


Рисунок 9.3 – Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода

Максимально допустимое обратное напряжение $U_{\text{обр max}}$ – максимально допустимое значение напряжения между анодом и катодом диод. Превышение данного значения приводит к пробое структуры P-N перехода.

Участки 2 – 3 и 3 – 4 обеспечивают работоспособность выпрямительного диода в течение долгого промежутка времени с сохранением всех параметров диода.

Участок 4 – 5 отражает уменьшение сопротивление P-N перехода диода по мере увеличения прямого напряжения, приводящего к перегреву структуры P-N перехода диода.

Участок 4 – 5 отражает стадию начала уменьшения сопротивление P-N перехода диода по мере увеличения обратного напряжения. В результате происходит пробой диода.

Выпрямительные диоды применяются для организации движения тока в нужном направлении и для изготовления выпрямителей, где они выступают в роли диодного моста.

Диодный мост – это диодная сборка, состоящая из четырех или шести выпрямительных диодов, предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный пульсирующий ток.

9.3 Стабилитрон

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, способный пропускать ток в широком диапазоне при малом изменении обратного напряжения. Благодаря способности поддерживать значение напряжения при значительном изменении тока, стабилитроны применяются для стабилизации напряжения в различной радиоаппаратуре и автомобильной технике.

На рисунке 9.4 представлена вольт-амперная характеристика выпрямительного диода, где отражается работа диода при прямом и обратном включении. Из ВАХ выпрямительного диода можно выявить ряд характеристик.

Максимально допустимый прямой ток $I_{\text{пр MAX}}$ – максимально допустимое значение прямого тока протекающего через стабилитрон. Превышение данного значения приводит к тепловому пробую структуры P-N перехода.

Минимальное напряжение стабилизации $U_{\text{СТ MIN}}$ – минимальное значение обратного напряжения, при котором в P-N переходе возникает лавинный или туннельный пробой.

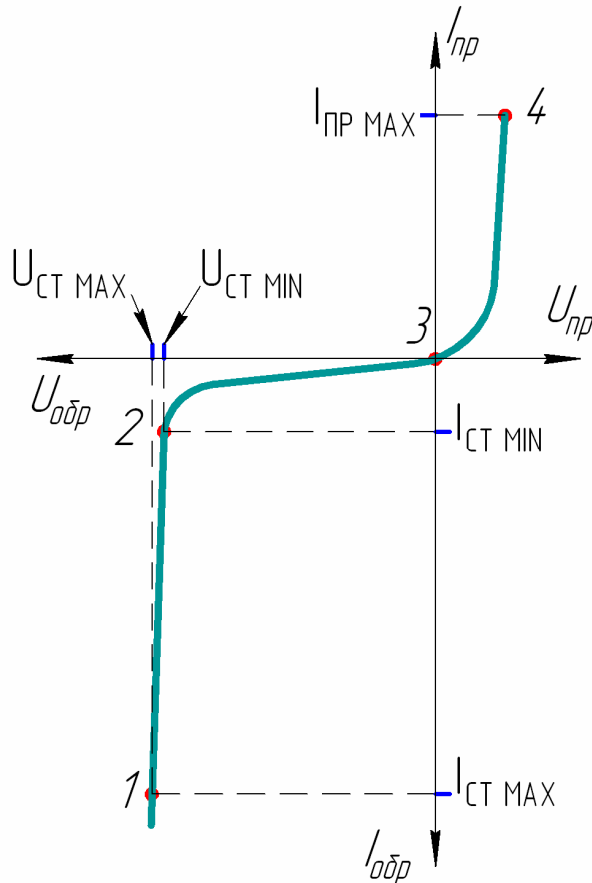


Рисунок 9.4 – Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода

Максимальное напряжение стабилизации $U_{CT\ MAX}$ – максимальное значение обратного напряжения, при котором температура P-N перехода близка к критическому значению.

Минимальное ток стабилизации $I_{CT\ MIN}$ – минимальное значение обратного тока, при котором в P-N переходе возникает лавинный или туннельный пробой.

Максимальное ток стабилизации $I_{CT\ MAX}$ – максимальное значение обратного тока, которое может пропускать через себя P-N перехода до образования теплового пробоя.

Участок 3 – 4 соответствует работе обычного выпрямительного диода при прямом включении.

Участок 2 – 3 сопротивление P-N перехода возрастает при обратном включении до расчетного значения в точке 2, после которого сопротивление резко уменьшается.

Участок 1 – 2 соответствует стабилизации напряжения, при котором сопротивление P-N перехода продолжает уменьшаться до некоторого расчетного значения обратного тока.

В точке 1 происходит тепловой пробой P-N перехода.

Напряжение стабилизации зависит от ширины P-N перехода, которое определяется удельным сопротивлением полупроводника. При напряжении стабилизации в диапазоне 3 – 6 Вольт в P-N переходе наблюдается туннельный пробой. В диапазоне 6 – 8 Вольт возможны лавинные и туннельные пробои. В диапазоне 8 – 200 Вольт наблюдаются только лавинные пробои P-N перехода.

9.4 Выпрямители

Выпрямитель – это устройство, которое предназначено для преобразования переменного тока в постоянный ток. Структуру выпрямителя можно разбить на части, каждая из которых выполняет свою функцию (см. рис. 9.5).

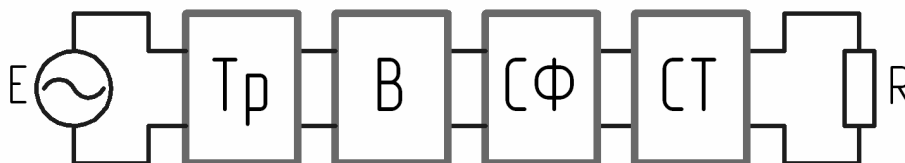


Рисунок 9.5 - Структурная схема выпрямителя: *Tr* – силовой трансформатор; *B* – вентиль; *CФ* – сглаживающий фильтр; *СТ* – стабилизатор.

На участке *a–b* (см. рис. 9.6) к силовому трансформатору от источника переменного тока поступает некоторое переменное напряжение U_1 . Поступая

на первичную обмотку трансформатора, напряжение U_1 трансформируется и на выходе трансформатора, на участке $c-d$ получается некоторое напряжение U_2 меньшего значения. После трансформатора напряжение U_2 поступает на двухполупериодный вентиль.

Двухполупериодный вентиль состоит из четырех выпрямительных диодов $VD1-4$, особенностью которых является пропускание тока только в одном направлении, при этом диод открыт, если направление тока меняется, то диод закрывается, и прохождение тока прекращается (см. рис. 9.6). Мостовая схема вентили позволяет отделить отрицательные волны переменного тока от положительных волн, в результате на выходе вентили на участке $e-f$ получается пульсирующее напряжение U_2 .

Пульсирующее напряжение U_2 далее поступает на сглаживающий фильтр представленный конденсатором $C1$. Конденсатор применяется для уменьшения пульсаций, так он обладает способностью накапливать на себе энергию и отдавать ее, когда напряжение на его выходах стремится к нулю. Во время отдачи энергии конденсатор разряжается до некоторого напряжения U_3 , после этого как напряжение питания вновь достигает своего амплитудного значения, конденсатор заряжается. В результате на участке $g-h$ получается слабо пульсирующее напряжение от значения U_3 до значения U_2 .

Далее в работу включается стабилизатор, который состоит из стабилитрона $VD5$ и балластного резистора R_B . Балластный резистор необходим для создания некоторого напряжения U_4 , которое будет поступать на нагрузку. Стабилитрон играет роль контролера и поддерживает значение напряжения U_4 на заданной величине, так как способен изменять свое внутренне сопротивление при скачках напряжения U_3 . В результате на участке $j-k$ образуется постоянное напряжение величиной U_4 .

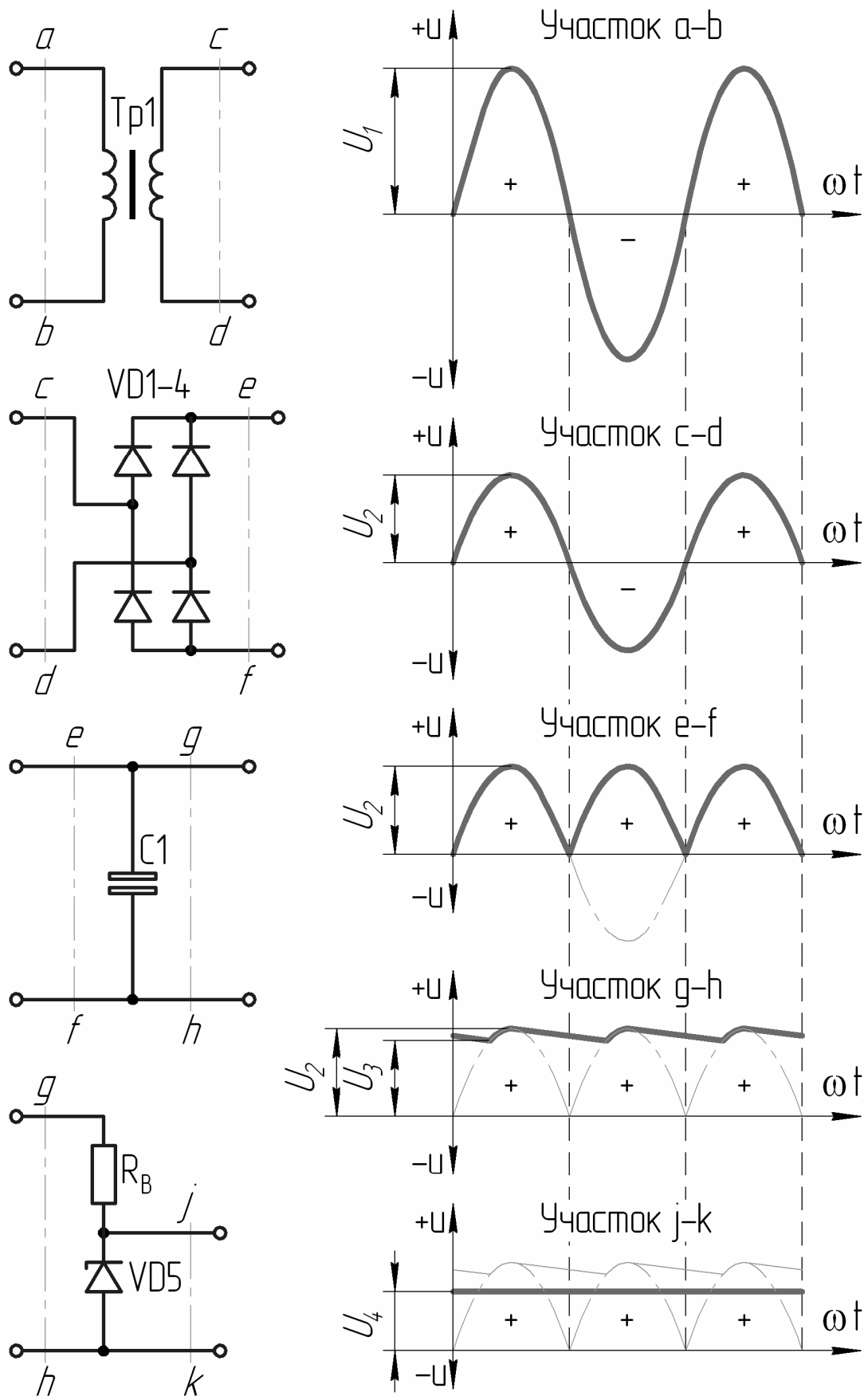


Рисунок 9.6 - Процесс преобразования переменного тока в постоянный ток

9.5 Контрольные вопросы

- 1) Что такое выпрямительный диод?
- 2) Что такое стабилитрон?
- 3) Что такое диодный мост?
- 4) Чем отличается ВАХ стабилитрона от ВАХ выпрямительного диода?
- 5) Для чего в электрической цепи применяют стабилитроны?
- 6) Для чего в конструкции выпрямительного диода применяют пружинный контакт?
- 7) Из каких частей состоит выпрямитель?
- 8) Для каких целей применяют выпрямители?
- 9) Для чего в выпрямителях применяется сглаживающий фильтр?
- 10) Какие элементы входят в конструкцию вентиля?

10 ТРАНЗИСТОРЫ

10.1 Общие сведения

В настоящее время промышленностью выпускаются различные виды транзисторов, принцип работы и характеристики зависят от конструктивных особенностей взаимодействия контактов с областями полупроводника. На рисунке 10.1 представлена диаграмма различных видов транзисторов.

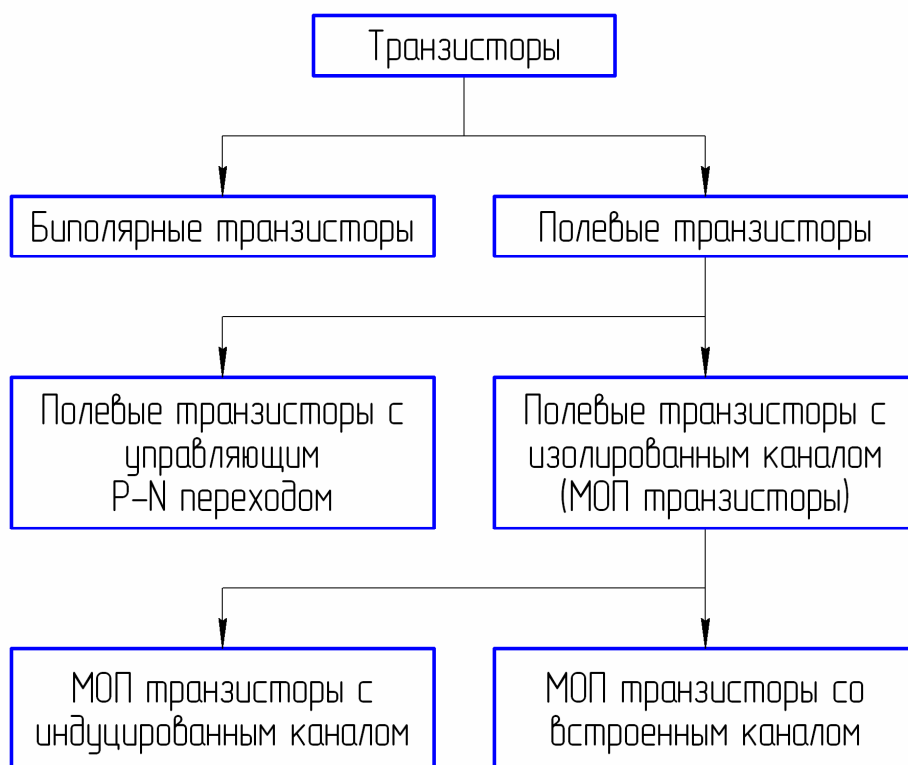


Рисунок 10.1 – Виды транзисторов

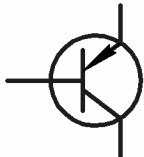
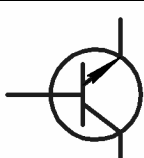
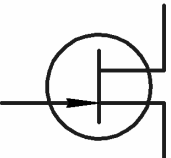
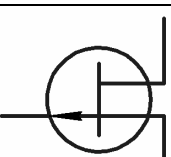
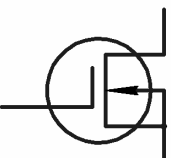
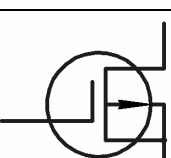
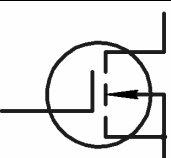
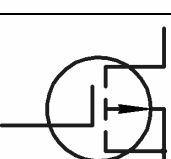
Некоторые виды изготавливаемых транзисторов, их условное графическое изображение и буквенно-цифровое обозначение представлены в таблице 10.

Транзисторы пришли на замену радиолампам.

Радиолампа – это электронный компонент, выполненный в виде газовой трубки и предназначенный для усиления электрических сигналов. Радиолампы широко применялись в радиоприемниках, телевизорах и компьютерах в советское время. В настоящее время радиолампы еще применяются в различных видах радиоприемников и усилителях звуковых сигналов, так как могут давать более чистый звук, но иногда имеют декоративный характер.

Транзисторы обладают рядом преимуществ по сравнению с радиолампами. Основным преимуществом является размер транзисторов. Транзистор, обладающий теми же характеристиками, что и радиолампа, занимает в десятки раз меньшее пространство.

Таблица 10 – Транзисторы

Наименование		Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Биполярный транзистор	P-N-P типа	VT	
	N-P-N типа		
Полевой транзистор с управляющим P-N переходом	с каналом N типа		
	с каналом P типа		
МОП транзисторы со встроенным каналом	N типа		
	P типа		
МОП транзисторы с индуцированным каналом	N типа		
	P типа		

Так же транзисторы обладают ударостойкостью, так как не содержат хрупких материалов, таких как стекло, которое используется в радиолампах. Не

менее важным преимуществом является величина питающего напряжения, радиолампы требуют более высокое питающее напряжение. Еще одним преимуществом транзисторов является их меньший нагрев при работе, поэтому практически не требуется охлаждения.

10.2 Биполярный транзистор

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор с двумя или более взаимодействующими выпрямляющими электрическими переходами, предназначенный для усиления и генерации электрических сигналов.

Биполярным транзистор называют потому, что в работе принимают участие два носителя заряда (электроны и дырки).

Биполярный транзистор представляет собой монокристалл проводника, в котором созданы три области с чередующимися типами проводимости (см. рис. 10.2). В зависимости от типа проводимости биполярные транзисторы бывают P-N-P типа и N-P-N типа.

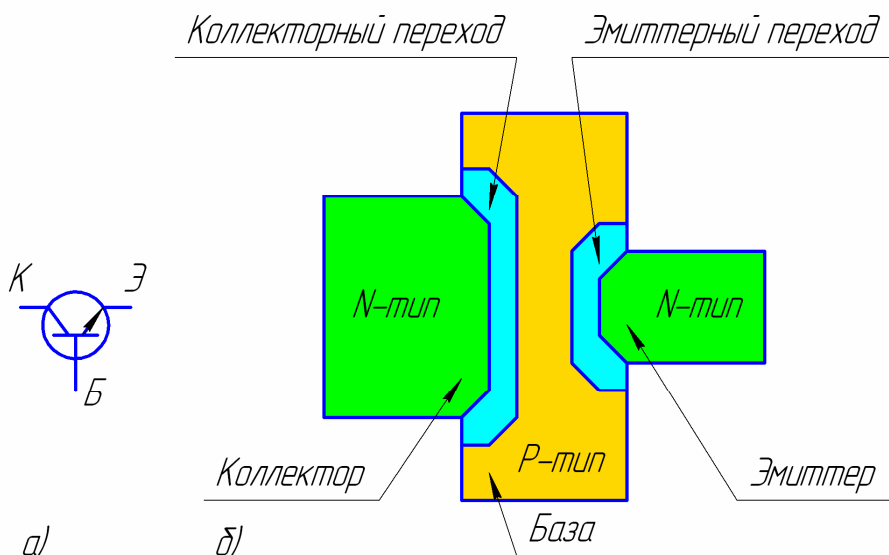


Рисунок 10.2 – Структура биполярного транзистора

Основные области биполярного транзистора:

База – это средняя область биполярного транзистора, расположенная между двумя P-N переходами.

Эмиттер – это область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей заряда в область базы.

Коллектор – это область транзистора, основным назначением которой является экстракция носителей заряда из области базы.

Эмиттерный переход – это P-N переход, расположенный между эмиттером и базой.

Коллекторный переход – это P-N переход, расположенный между коллектором и базой.

Транзисторы, изготовленные в керамическом корпусе, во время работы практически не нагреваются, так как являются маломощными и работают с током, значение которого не превышает 0,4 А.

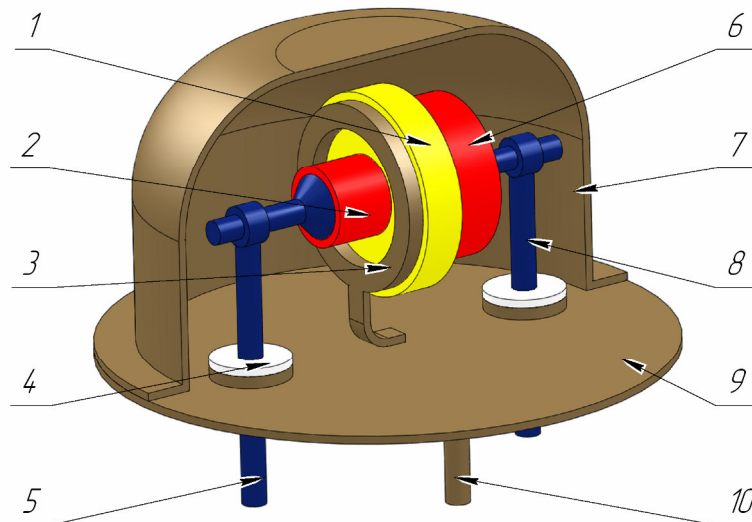


Рисунок 10.3 – Конструкция биполярного транзистора: 1 – база; 2 – эмиттер; 3 – контакт базы; 4 – диэлектрик; 5 – контакт эмиттера; 6 – коллектор; 7 – крышка; 8 – контакт коллектора; 9 – площадка; 10 – внешний контакт базы

База биполярного транзистора является областью, через которую идет управление силой тока, протекающей между коллектором и эмиттером. Если на базу не поступает ток $I_{\text{Б}} = 0$ то между коллектором и эмиттером не будет

протекать ток $I_K = 0$, $I_E = 0$, так как один из P-N переходов будет включен в обратном направлении.

Если на базу подать некоторую величину тока $I_B > 0$, то эмиттерный переход окажется включенным в прямом направлении и будет открыт. Между эмиттером и базой начнется обмен носителями заряда и на эмиттере появится ток $I_E > 0$. Не все электроны, пришедшие со стороны эмиттера, будут задерживаться в области базы. Большая часть электронов из этих электронов, ввиду небольшой ширины базовой области, будут ее проскакивать и окажутся в коллекторной области. Это приведет к появлению тока в коллекторной области $I_K > 0$. Принимая во внимание, что все электроны, пришедшие в эмиттер, будут распределяться между базой и коллектором, можно судить о том, что ток будет распределяться таким же образом:

$$I_E = I_K + I_B$$

Отношение тока коллектора I_K к току базы I_B будет величиной постоянной, эту величину называют коэффициентом усиления биполярного транзистора:

$$h_{21} = \frac{I_K}{I_B}$$

Коэффициент усиления зависит от изначальной ширины базовой области.

Увеличение тока в цепи базы приведет к уменьшению ширины базовой области и увеличению тока коллектора. Если ток базы превысит допустимое значение $I_B > I_{B \text{ MAX}}$, то произойдет пробой транзистора, который так же называют проколом базы.

Прокोल базы – это пробой биполярного транзистора, происходящий при соприкосновении коллекторного и эмиттерного перехода.

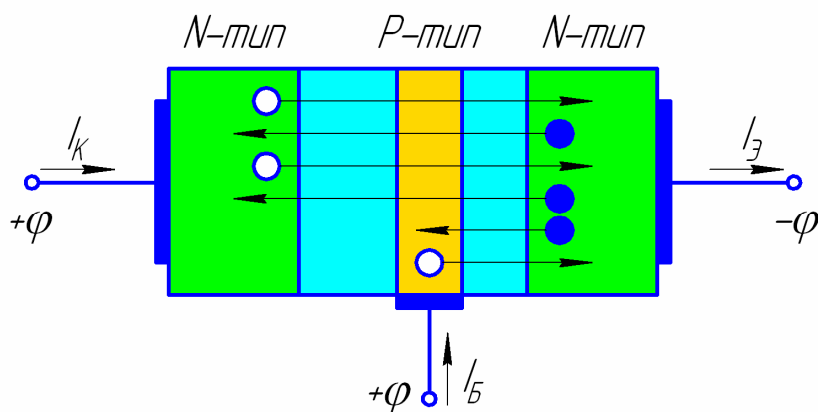


Рисунок 10.4 – Принцип работы биполярного транзистора

10.3 Схемы включения биполярных транзисторов

Биполярные транзисторы могут включаться по трем различным схемам: схема с общей базой, схема с общим эмиттером и схема с общим коллектором

(см. рис. 10.5). Где: $GB1$, $GB2$ – источники постоянного тока; R_N – сопротивление нагрузки; R_1 – резистор, ограничивающий ток базы; $VT1$ – биполярный транзистор.

Схема с общей базой (см. рис. 10.5а). Схема с общей базой позволяет усилить входное напряжение, но не дает усиления по входному току. Схема с общей базой дает усиление по мощности, но так как нет усиления по току, то используется редко.

Схема с общим эмиттером (см. рис. 10.5б). Схема с общим эмиттером позволяет усилить входное напряжение и ток. Такая схема дает большее усиление по мощности, чем схема с общей базой, поэтому такая схема находит широкое применение в различных устройствах.

Схема с общим коллектором (см. рис. 10.5в). Схему с общим коллектором так же называют эмиттерным повторителем. Такая схема позволяет усилить входной ток, но не дает усиления по входному напряжению. Такая схема дает усиление по мощности, но его величина не сравнительно ниже, чем схема с общим эмиттером. Схему с общим коллектором применяют в качестве входного каскада усиления, так как она обладает большим входным сопротивлением.

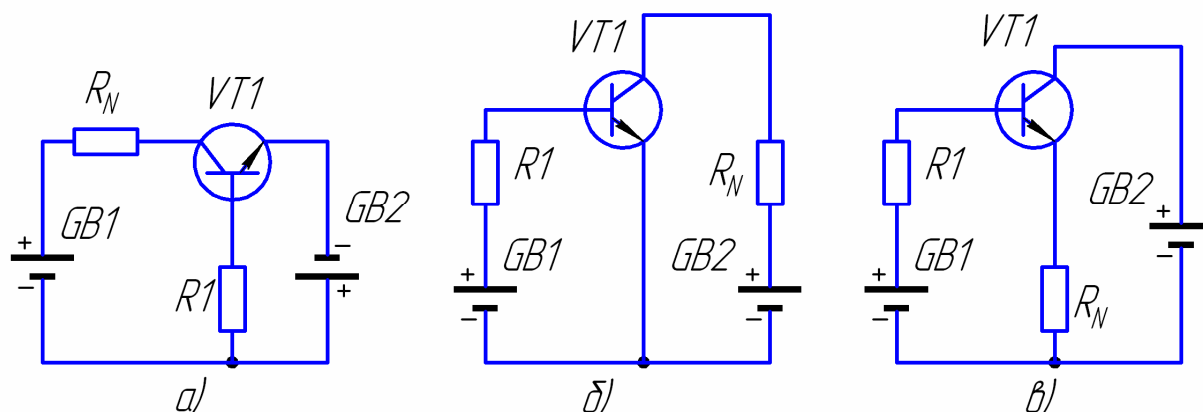


Рисунок 10.5 – Схемы включения биполярного транзистора

10.4 Применение биполярных транзисторов

Биполярные транзисторы могут работать в двух режимах: *режим усиления электрических сигналов* и *режим электронного ключа*.

В режиме усиления транзистор усиливает силу тока, поступающую на базу транзистора, при этом значение тока в данном режиме изменяется плавно в небольших пределах. Примером работы транзистора в усилительном режиме может быть усилитель звуковой частоты.

Если значение тока изменяется скачкообразно или в больших пределах или не изменяется, то транзистор переходит в режим электронного ключа. В этом режиме от транзистора требуется или пропускать, тогда на базу подается

ток определенной величины, или не пропускать ток, в этом случае ток на базу или не поступает. Такой режим используется в реле времени, в приборах светомузыки, частотных генераторах.

Условные сокращения: транзистор открыт, когда через него протекает ток и наоборот, транзистор закрыт, когда через него не протекает ток.

Реле времени – это устройство, контакты которого замыкаются (или размыкаются) с некоторой задержкой во времени после получения управляющего сигнала.

Реле времени применяется в тех случаях, когда необходимо на некоторое время продлить включенное (выключенное) состояние приборов после их отключения (включения). На рисунке 10.6 представлена простая схема реле времени где: VT1 – биполярный транзистор; C1 – конденсатор; K1 – электромагнитное реле; K1.1 – замыкаемые контакты реле; R1 – резистор; SA1 – двухпозиционный переключатель; GB1 – источник постоянного тока.

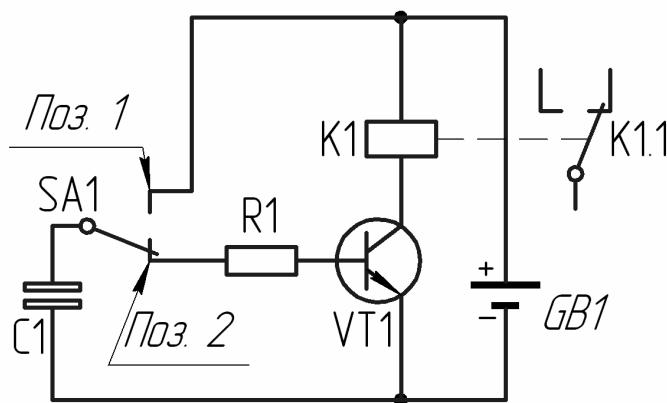


Рисунок 10.6 – Схема реле времени

При нажатии на переключатель произойдет перемещение контактов в позицию 1 и конденсатор зарядится до напряжения источника тока. Конденсатор в данной схеме играет роль дополнительного источника тока. После отпускания контакты переключателя вернутся в исходную позицию 1 и конденсатор начнет разряжаться через резистор и будет снабжать током базу транзистора. Транзистор откроется, и между коллектором и эмиттером будет протекать ток, величина которого будет зависеть от силы тока поступающего на базу и коэффициента усиления транзистора. Через реле начнет протекать ток, это приведет к переключению исполнительных контактов реле, к которым подключена нагрузка, которая должна включиться или выключиться через определенное время. По мере разряда конденсатора через резистор, ток, поступающий на базу, начнет уменьшаться. Через некоторое время тока, протекающего через реле, не хватит, чтобы удерживать контакты. Контакты вернутся в исходное состояние. Нагрузка выключиться или включиться, в

зависимости от подключения. Время включения (выключения) зависит от емкости конденсатора и номинала резистора.

Мультивибратор – это автогенератор электрических прямоугольных импульсов.

На рисунке 10.7 представлена схема мультивибратора. Где: $VT1$ и $VT2$ – биполярные транзисторы; $C1$, $C2$ – конденсаторы; $GB1$ – источник постоянного тока; $R1$, $R2$ – резисторы; R_a , R_b – резисторы играющие роль нагрузки.

Мультивибратор может быть симметричным и не симметричным. Мультивибратор считается симметричным, когда $C1 = C2$ и $R1 = R2$, если одно из условий не выполняется, то мультивибратор не симметричный. Так же обязательным требованием является соблюдения неравенства $R1 = R_a$.

Мультивибраторы находят применение в радио электронике как источники импульсов, которые повторяются через равные промежутки времени. Генераторы в измененной форме применяются в часах, таймерах и других устройствах.

При включении мультивибратора схема перейдет в активное состояние, при котором оба транзистора открыты, и конденсаторы начинают заряжаться. После того как конденсаторы зарядились до определенного значения, транзисторы закрываются и мультивибратор переходит в генерацию импульсов. Предположим, что в начальный момент транзистор $VT1$ открыт, а $VT2$ закрыт. Конденсатор $C1$ заряжается через резистор $R1$, а конденсатор $C2$ разряжен. После того как напряжение на конденсаторе $C1$ поднимется до определенного значения, транзистор $VT2$ откроется, а транзистор $VT1$ закроется. Конденсатор $C2$ начнет заряжаться через резистор $R2$, а начнет разряжаться. После того как напряжение на конденсаторе поднимется до определенного значения, произойдет обратное переключение транзисторов $VT1$ и $VT2$, и цикл повторится.

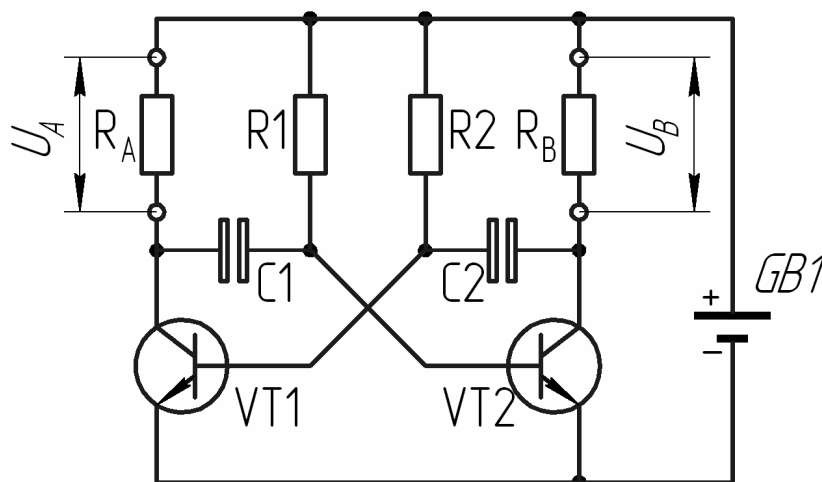


Рисунок 10.7 – Схема симметричного мультивибратора

Если транзистор $VT1$ открыт, то через нагрузку Ra протекает ток и напряжение на контактах Ra принимает значение логической единицы (см. рис 10.8). Если транзистор $VT1$ закрыт, то через нагрузку Ra не протекает ток и напряжение на контактах Ra принимает значение логического нуля. Аналогичная картина с нагрузкой Rb .

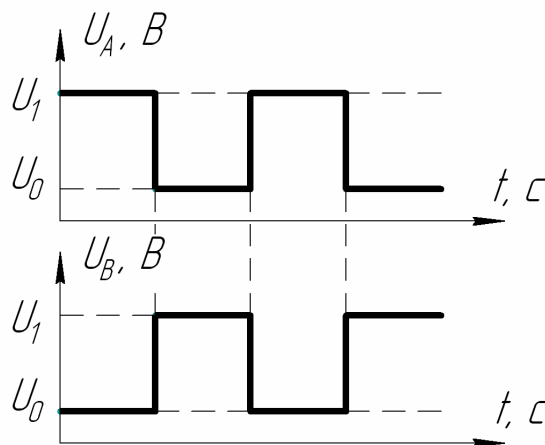


Рисунок 10.8 – Изменение значения напряжения на нагрузке

Частота переключения (переход из открытого состояния в закрытое и обратно) зависит от номиналов резисторов $R1$ и $R2$ и емкости конденсаторов $C1$, и $C2$. Если увеличить емкость конденсаторов $C1$ и $C2$ то увеличится время их зарядки, следовательно увеличится время открытого и закрытого состояния транзисторов $VT1$ и $VT2$. Если увеличить номинал резисторов $R1$ и $R2$ то увеличится время их зарядки конденсаторов $C1$ и $C2$, следовательно, увеличится время открытого и закрытого состояния транзисторов $VT1$ и $VT2$.

10.5 Полевой транзистор с управляющим Р-Н переходом

Полевой транзистор – это транзистор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем.

Полевые транзисторы еще называют «униполярными», так как в работе транзистора принимают участие или электроны или дырки.

Полевой транзистор с управляющим р-п переходом – это транзистор, где управление потоком основных носителей зарядов происходит с помощью выпрямляющего Р-Н перехода.

На рисунке 10.9 представлена структура полевого транзистора с управляющим Р-Н переходом с каналом N типа. Основными элементами полевого транзистора являются: сток, исток, канал, подложка, затвор.

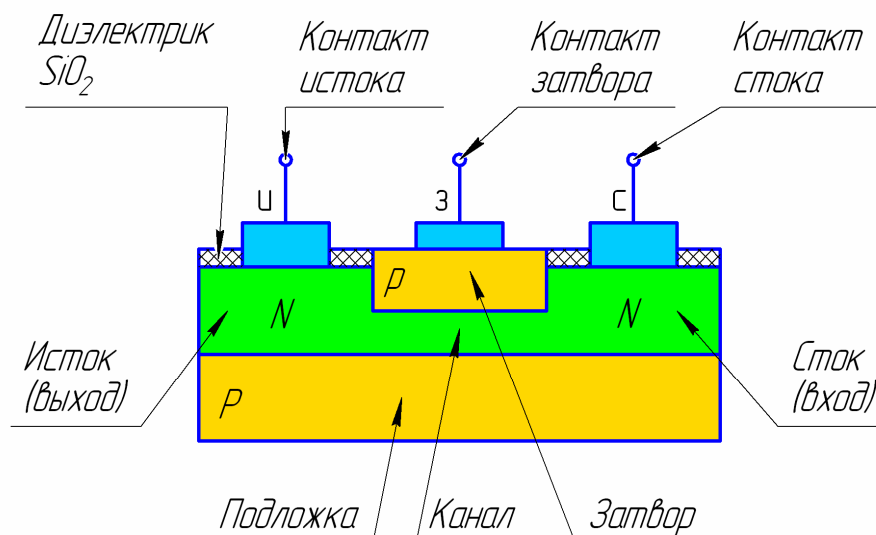


Рисунок 10.9 – Структура полевого транзистора с управляющим P-N переходом с каналом N типа

Сток (вход) – это область полевого транзистора, предназначенная для входа носителей заряда.

Исток (выход) – это область полевого транзистора, предназначенная для выхода носителей заряда.

Канал – это область полевого транзистора, соединяющая вход и выход полевого транзистора.

Затвор – это область полевого транзистора, предназначенная для управления токовой проводимостью канала.

Подложка – это область полевого транзистора, являющаяся основанием на котором собирается полевой транзистора.

Принцип работы полевого транзистора с управляющим P-N переходом с каналом N типа представлен на рисунке 10.10. На рисунке 10.11 представлена вольт-амперная характеристика полевого транзистора с управляющим P-N переходом с каналом N типа, где: ось $I_{\text{пр СИ}}$ это ось тока протекающего по каналу от стока к истоку; оси $U_{\text{обр з}}$ и $U_{\text{пр з}}$ это прямое и обратное напряжение между затвором и истоком.

На первоначальном этапе исток и затвор полевого транзистора подключаются к нулевому потенциалу $\varphi = 0$ источника тока, а сток подключается к положительному потенциалу источника тока $+\varphi$ (см. рис. 13.10а). В этом случае канал обладает максимальной электропроводностью и минимальным внутренним сопротивлением. По каналу от стока к истоку протекает ток $I_{\text{СИ MAX}}$ (см. рис. 10.11).

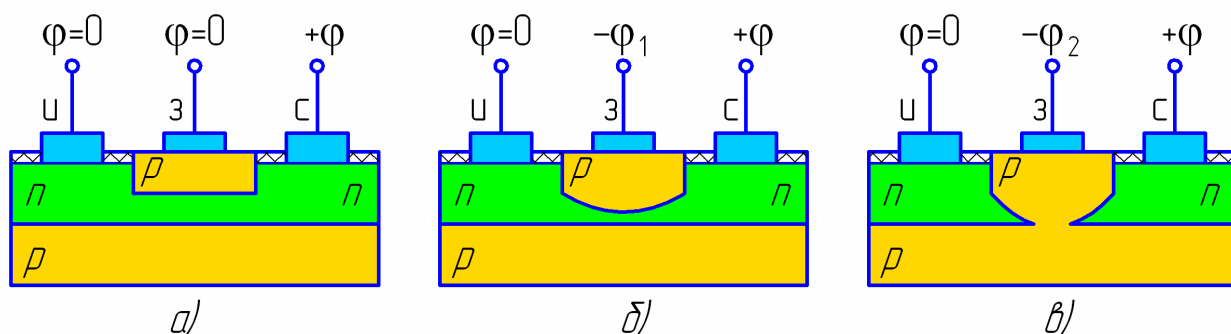


Рисунок 10.10 – Принцип работы полевого транзистора с управляющим P-N переходом с каналом N типа

Если подключить затвор к некоторому отрицательному потенциалу некоторой величины $-\varphi_1$, то P-N переход между областями затвора стока окажется включенным в обратном (запирающем) направлении (см. рис. 10.10б). Обратное смещение P-N перехода вызовет отток носителей заряда из пограничной области в сторону положки. Ширина потенциального барьера между каналом и затвором увеличится, и поперечное сечение канала уменьшится до некоторой величины. Сопротивление канала увеличится и его электропроводность сократится. Ток, протекающий между стоком и истоком, уменьшится до некоторой величины $I_{\text{си}}$ (см. рис. 10.11).

Дальнейшее увеличение отрицательного потенциала, приложенного к затвору, будет вызывать дальнейшее увеличение потенциального барьера P-N перехода между затвором и стоком. Внутреннее сопротивление канала будет увеличиваться, а электропроводность уменьшаться. А в месте с этим будет уменьшаться ток, протекающий от стока к истоку.

Если отрицательный потенциал источника тока увеличить до некоторого значения $-\varphi_2$, то канал, соединяющий сток и исток, исчезнет (см. рис. 10.10в). Это произойдет потому, что потенциальный барьер P-N перехода между затвором и стоком полностью перекроют область канала. Сопротивление канала окажется непреодолимым для тока, и между стоком и истоком не будет протекать ток $I_{\text{си}} = 0$ (см. рис. 10.11).

Напряжение, которое вызывает перекрытие канала полевого транзистора, называют *напряжением отсечки*. Полевые транзисторы с управляющим P-N переходом работают в *режиме обеднения*. Режим обеднения заключается в оттоке электронов из области канала в область подложки, вследствие чего канал теряет токопроводность.

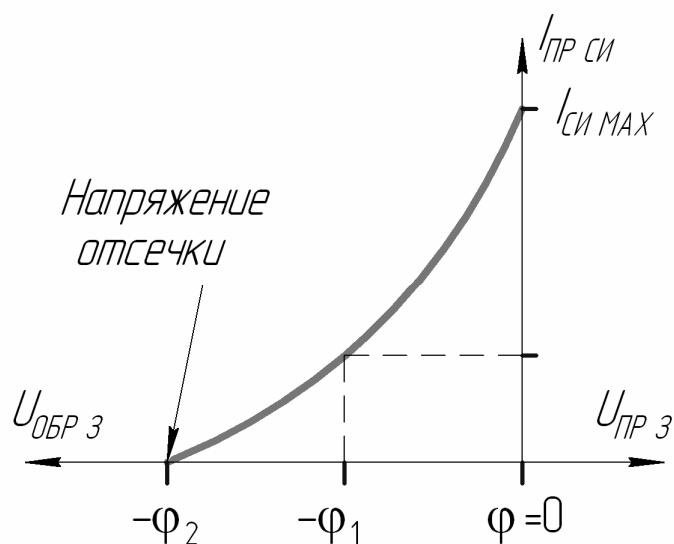


Рисунок 10.11 – Вольт-амперная характеристика полевого транзистора с управляющим P-N переходом с каналом N типа

10.6 МОП транзистор со встроенным каналом

Полевой транзистор с изолированным затвором (МОП транзистор) – это транзистор, у которого затвор электрически отделен от токопроводящего канала слоем диэлектрика. Аббревиатура «МОП» это сокращение от слов «металл окисел полупроводник», иногда такие транзисторы называют МДП-транзисторы (металл диэлектрик полупроводник).

МОП транзистор со встроенным каналом – это МОП транзистор, у которого между областями стока и истока располагается токопроводящий канал, отделенный от затвора слоем диэлектрика.

Структура МОП транзистора со встроенным каналом N типа представлена на рисунке 10.12.

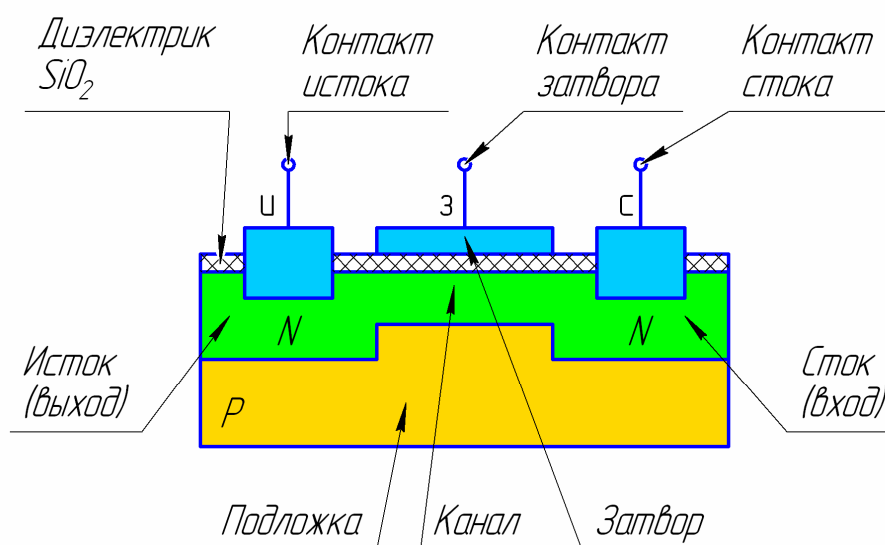


Рисунок 10.12 – Структура МОП транзистора со встроенным каналом N типа

Принцип работы МОП транзистора со встроенным каналом N типа представлен на рисунке 10.13, а на рисунке 10.14 представлена вольт-амперная характеристика МОП транзистора со встроенным каналом N типа, где: ось $I_{\text{пр си}}$ это ось тока протекающего по каналу от стока к истоку; оси $U_{\text{обр з}}$ и $U_{\text{пр з}}$ это прямое и обратное напряжение между затвором и истоком.

На первоначальном этапе исток и затвор полевого транзистора подключаются к нулевому потенциалу $\varphi = 0$ источника тока, а сток подключается к положительному потенциалу источника тока $+\varphi$ (см. рис. 10.13а). В этом случае канал обладает некоторой электропроводностью и некоторым внутренним сопротивлением. По каналу от стока к истоку протекает ток $I_{\text{си}0}$ (см. рис. 10.14).

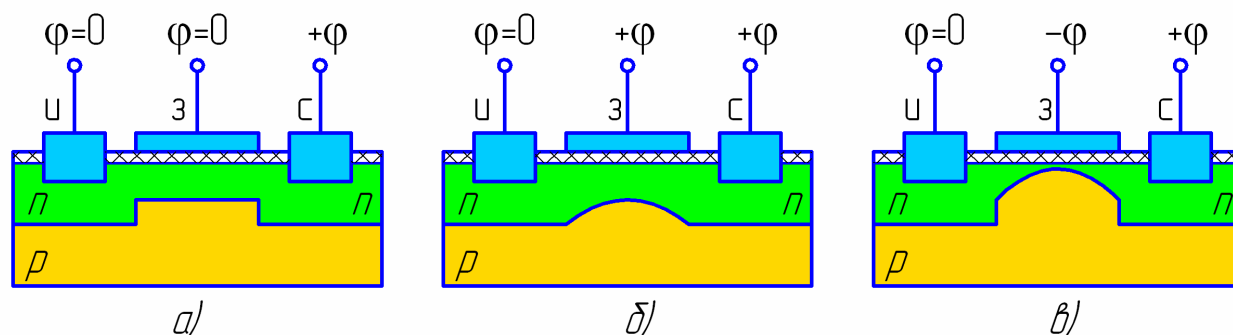


Рисунок 10.13 – Принцип работы МОП транзистора со встроенным каналом N типа.

Если подключить затвор к положительному потенциалу некоторой величины $+\varphi$, то это приведет к притоку носителей заряда из подложки в область канала (см. рис. 10.13б). Приток носителей заряда приведет к увеличению концентрации электронов в области канала и его электропроводность увеличится, а сопротивление уменьшится. Уменьшение сопротивления канала в свою очередь приведет к увеличению тока протекающего между стоком и истоком до некоторой величины $I_{\text{си}}$ (см. рис. 10.14).

В данном случае МОП транзистора со встроенным каналом будет работать в *режиме обогащения*. Режим обогащения заключается в притоке электронов в область канала из подложки, вследствие чего канал увеличивает токопроводность.

Если подключить затвор к отрицательному потенциалу некоторой величины, то это приведет к оттоку носителей заряда из канала в область подложки (см. рис. 10.13в). Отток электронов приведет к сокращению концентрации электронов в области канала и его электропроводность

уменьшится, а сопротивление возрастет. Увеличение сопротивления канала в свою очередь приведет к сокращению тока протекающего между стоком и истоком (см. рис. 10.14).

При некоторой величине отрицательного потенциала $-\varphi$ (см. рис. 10.13в) канал полностью потеряет свою электропроводность. Так как практически все электроны, под действие отрицательного потенциала $-\varphi$ на затворе, перейдут в область подложки. Канал полностью потеряет электропроводность, и между стоком и истоком не будет протекать ток $I_{СИ} = 0$ (см. рис. 10.14). В данном случае МОП транзистора со встроенным каналом будет работать в *режиме обеднения*.

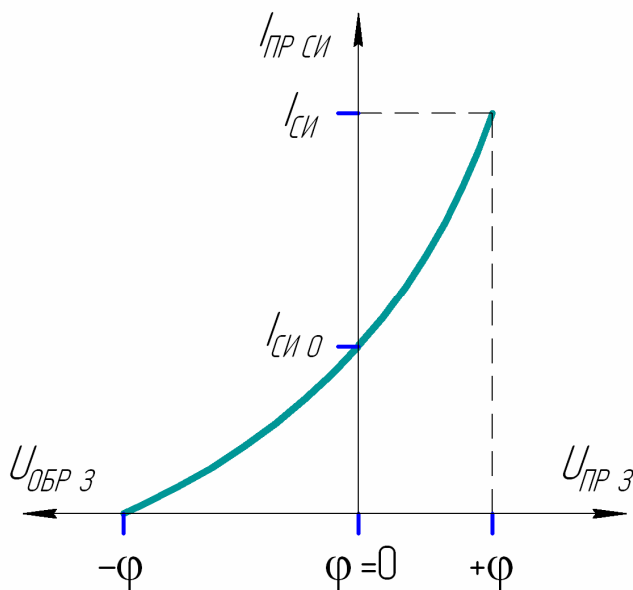


Рисунок 10.14 – Вольт-амперная характеристика МОП транзистора со встроенным каналом N типа

10.7 МОП транзистор с индуцированным каналом

МОП транзистор с индуцированным каналом – это МОП транзистор, у которого между областями стока и истока нет токопроводящего канала.

Структура МОП транзистора с индуцированным каналом N типа представлена на рисунке 10.15.

Принцип работы МОП транзистора с индуцированным каналом N типа представлен на рисунке 10.16, а на рисунке 10.17 представлена вольт-амперная характеристика МОП транзистора с индуцированным каналом N типа, где: ось $I_{ПР СИ}$ это ось тока протекающего по каналу от стока к истоку; оси $U_{ОБР З}$ и $U_{ПР З}$ это прямое и обратное напряжение между затвором и истоком.

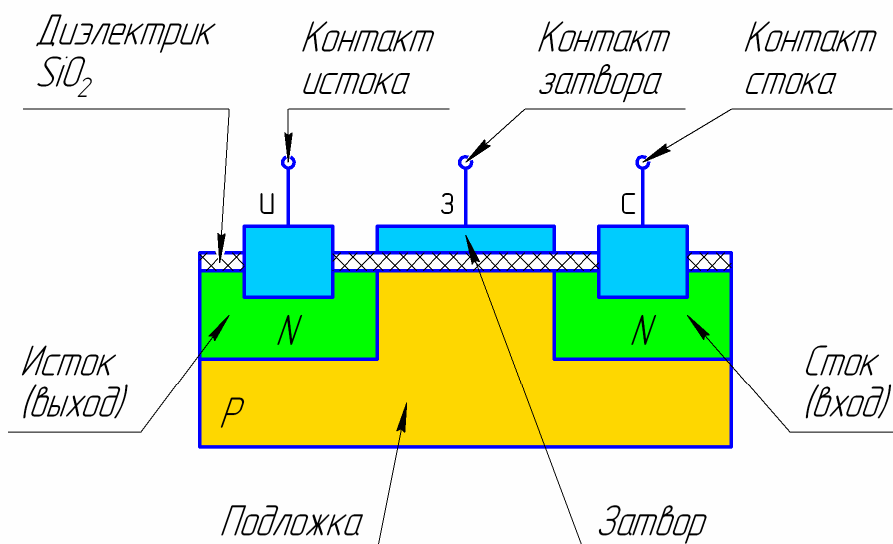


Рисунок 10.15 – Структура МОП транзистора с индуцированным каналом *N* типа

На первоначальном этапе исток и затвор полевого транзистора подключаются к нулевому потенциалу $\varphi = 0$ источника тока, а сток подключается к положительному потенциалу источника тока $+\varphi$ (см. рис. 10.16а). В этом случае в структуре МОП транзистора нет токопроводящего канала, так как один из P-N переходов истока с подложкой или стока с подложкой включен в обратном направлении. Высокое внутреннее сопротивление закрытых P-N переходов не дает протекать току между стоком и истоком (см. рис. 10.17).

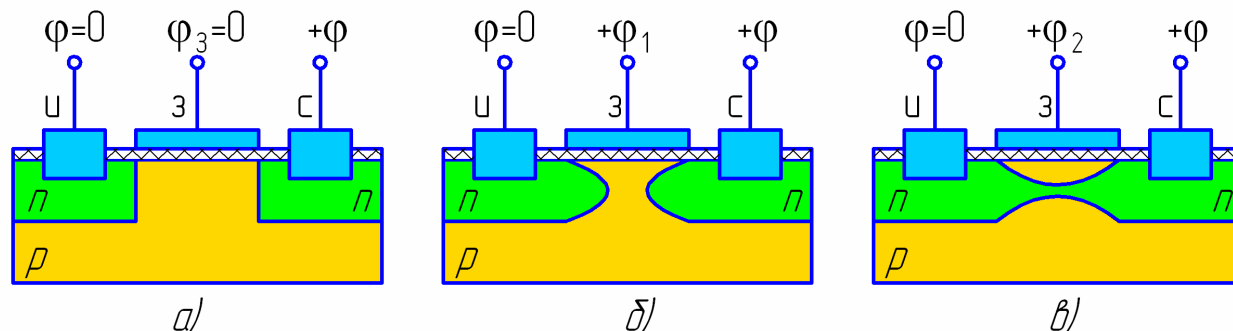


Рисунок 10.16 – Принцип работы МОП транзистора с индуцированным каналом *N* типа

Если подключить затвор к положительному потенциалу некоторой величины $+\varphi_1$, то это приведет к притоку электронов из подложки в области P-N переходов область истока с подложкой и стока с подложкой. (см. рис. 10.16б). При таком значении потенциала $+\varphi_1$ будут появляться зачатки будущего канала между стоком и истоком.

С увеличением положительного потенциала затвора концентрация электронов в пограничных областях стока и истока будет возрастать. Это будет приводить к более интенсивному формированию будущего канала.

При подключении затвора к положительному потенциалу некоторой величины $+\varphi_2$, концентрации электронов между стоком и истоком будет достаточно для образования токопроводящего канала (см. рис. 10.16в). Но его площадь поперечного сечения будет не велика, а, следовательно, через него будет протекать ток, значение которого будет примерно равно нулю (см. рис. 10.17).

Дальнейшее увеличение положительного потенциала на затворе приведет к увеличению поперечного сечения канала. Сопротивление канала будет уменьшаться и через него начнет протекать ток с большей интенсивностью.

МОП транзистора с индуцированным каналом работают только в *режиме обогащения*.

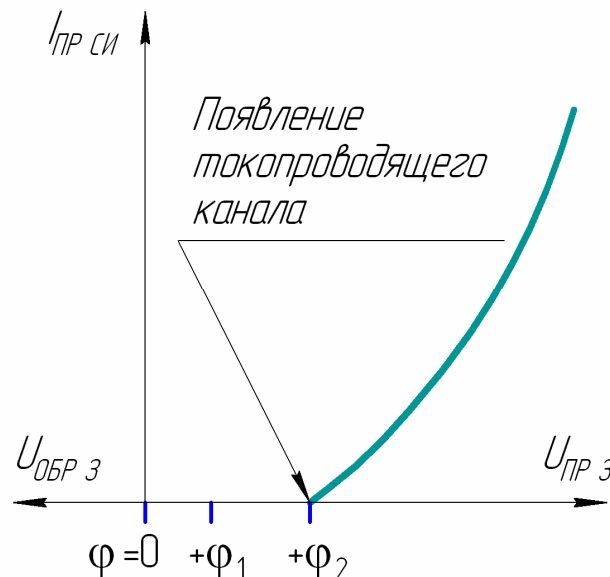


Рисунок 10.17 – Вольт-амперная характеристика МОП транзистора с индуцированным каналом N типа

10.8 Контрольные вопросы

- 1) Что такое биполярный транзистор?
- 2) Почему биполярный транзистор называют биполярным?
- 3) Как называются контакты биполярного транзистора?
- 4) Для чего применяется каждый из контактов биполярного транзистора?
- 5) Какие существуют схемы включения биполярного транзистора?
- 6) В каких режимах могут работать биполярные транзисторы?
- 7) Что такое полевой транзистор?
- 8) Какие существуют виды полевых транзисторов?
- 9) Как называются контакты полевого транзистора?

- 10) Почему полевой транзистор называют униполярным?
- 11) Что такое МОП транзистор?
- 12) Чем отличается структура МОП транзистора с индуцированным каналом от структуры МОП транзистора со встроенным каналом?
- 13) Чем отличается принцип работа МОП транзистора с индуцированным каналом от принципа работы МОП транзистора со встроенным каналом?

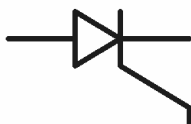
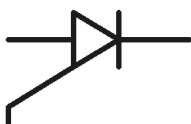
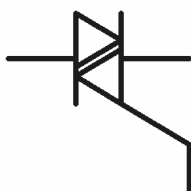
11. ТИРИСТОРЫ И СИМИСТОРЫ

11.1 Тиристоры

Тиристор – полупроводниковый прибор с тремя или более P-N переходами, вольт-амперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, который используется для переключения.

Некоторые виды изготавливаемых транзисторов, их условное графическое изображение и буквенно-цифровое обозначение представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Тиристоры

Наименование тиристора	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Тиристор с управлением по катоду	VS	
Тиристор с управлением по аноду		
Симметричный тиристор (Симистор)		

Тиристоры иногда называют управляемыми диодами и применяют, как твердотельные переключатели. Тиристор имеет три контакта (см. рис. 11.1): анод и катод подключаются к управляемой цепи, а управляющий контакт необходим для включения тиристора.

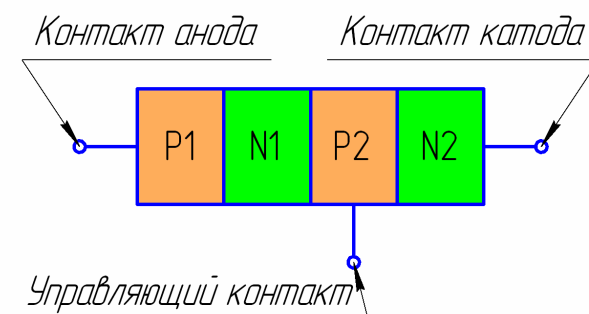


Рисунок 11.1 – Структура тиристора

Тиристор может находиться в двух устойчивых состояниях: открытое и закрытое состояние. Переход из одного состояния в другое осуществляется

мгновенно. Поэтому тиристоры используются как твердотельные переключатели.

Открытое состояние – сопротивление между анодом и катодом незначительное, следовательно, между анодом и катодом протекает ток;

Закрытое состояние – сопротивление между анодом и катодом стремится к бесконечности, следовательно, между анодом и катодом не протекает ток.

Принцип работы тиристора представлен на рисунке 11.2. Принцип работы тиристора проще пояснить на примере соединения двух биполярных транзисторов с разными структурами. Для этого структуру транзистора (см. рис. 11.2а) мысленно разделяют на две разные структуры с общими центральными областями (см. рис. 11.2б). Эти две структуры представляют собой два независимых транзистора $VT1$ и $VT2$, у которых области баз и коллекторов соединены между собой (см. рис. 11.2в). А управляющий контакт подключается к базе транзистора $VT2$ и коллектору транзистора $VT1$.

Когда на управляющий контакт не поступает ток $I_y = 0$, тиристор находится в закрытом состоянии при любой полярности включения анода и катода, так как хотя бы один из Р-Н переходов включен в обратном направлении.

При подаче на управляющий контакт некоторой величины тока $I_y > 0$, транзистор $VT2$ частично откроется. Через транзистор $VT2$ начнет протекать ток I_2 , который будет проходить через базу транзистора $VT1$. Транзистор $VT1$ в свою очередь так же частично откроется, и будет пропускать ток I_1 . Управляющий ток и ток транзистора $VT1$ теперь вдвоем будут подаваться на базу транзистора $VT2$. Это приведет к увеличению тока I_2 . И цикл повторится. С каждым новым циклом токи I_1 и I_2 будет увеличиваться.

Через некоторое время величины токов I_1 и I_2 будет достаточно чтоб поддерживать, друг друга в открытом состоянии и потребность в управляющем токе отпадет. Это свидетельствует о полном открывании тиристора.

Чем больше изначальный ток управления I_y , тем меньше число циклов придется затратить на открывание тиристора, следовательно, он раньше откроется.

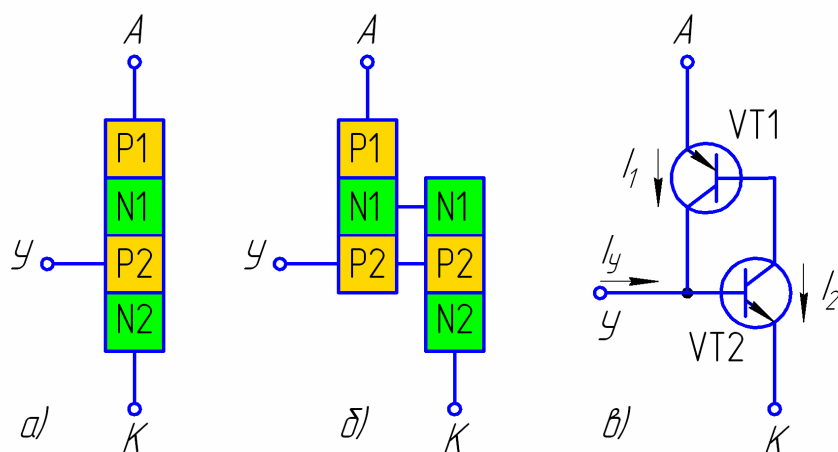


Рисунок 11.2 – Принцип работы тиристора

Для того чтобы закрыть тиристор необходимо: 1) изменить полярность анода и катода; 2) уменьшить ток, протекающий между анодом и катодом до 0. выключить тиристор через управляющий контакт не удастся, даже если поменять полярность питающего тока.

На рисунке 11.3 представлена вольт-амперная характеристика тиристора.

Участок 1 – 2 соответствует включению тиристора в обратном направлении. Физические процессы, происходящие в нем полностью эквивалентны процессам выпрямительного диода при обратном включении.

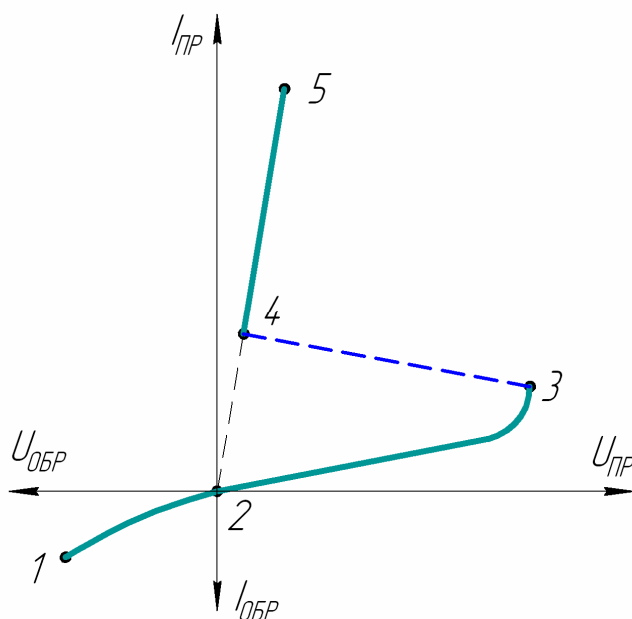


Рисунок 11.3 – Вольт-амперная характеристика тиристора

Участок 2 – 3 отражает включение тиристора в прямом направлении, но на управляющий контакт не поступает ток. Сопротивление тиристора увеличивается по мере увеличения прямого напряжения.

Точка 3 соответствует моменту подачи на управляющий контакт некоторой величины тока.

Участок 3 – 4 соответствует процессу перехода тиристора в открытое состояние под воздействием управляющего тока.

Участок 4 – 5 отражает открытое состояние тиристора, когда его сопротивление уменьшается по мере увеличения прямого напряжения.

11.2 Симисторы

Симистор – это симметричный тиристор, который применяется для коммутации нагрузки в цепях переменного тока. Симисторы имеют пятислойную структуру с чередующимся типом проводимости.

Симистор управляется положительным и отрицательным потенциалом, подаваемым на управляющий контакт. При этом работа симистора не зависит от полярности напряжения между анодом и катодом. А тиристор требует наличие положительного или отрицательного потенциала на управляющем контакте, в зависимости от способа управления (по аноду или катоду).

Закрывание симистора происходит каждый раз, когда напряжение между анодом и катодом меняет свое направление или величина тока снижается до нуля. Поэтому симисторы не требуют наличия специальных устройств для закрывания.

Если симистор попадает в цепь постоянного тока, то его работа становится подобна работе тиристора. Это значит что после отключения питающего тока, симистор остается открытым. При этом его закрывание будет подобно закрыванию симистора.

На рисунке 11.4 представлена вольт-амперная характеристика симистора. Как видно прямая ветвь вольт-амперной характеристики является симметричной обратной ветви.

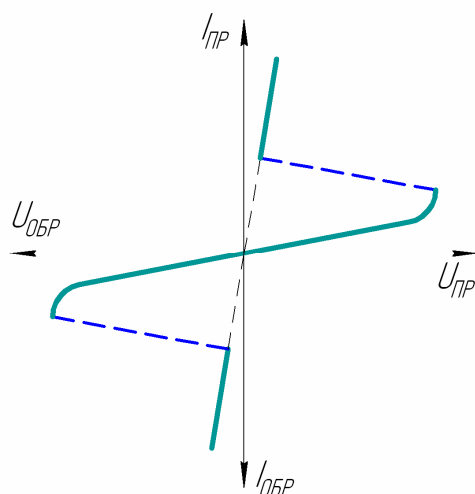


Рисунок 11.4 – Вольт-амперная характеристика симистора

Тиристоры и симисторы находят широкое применение в охранных системах, для коммутации в цепях переменного и постоянного тока, обслуживающих электродвигатели и другой индуктивной нагрузки.

Применение симисторов для коммутации индуктивной нагрузки особенно актуально, так как отключение работающего оборудования обеспечивается полупроводниковой структурой симистора, а не механическим переключателем, следовательно, не происходит образование электрической дуги.

11.3 Контрольные вопросы

- 1) Какие устройства называют тиристорами?
- 2) Как называются контакты тиристора?
- 3) Для чего тиристор нужен управляющий контакт?
- 4) В каких устойчивых состояниях может находиться тиристор?
- 5) В качестве чего применяются тиристоры?
- 6) Какие существуют способы закрытия тиристора?
- 7) Что такое симистор?
- 8) Чем отличается симистор от тиристора?
- 9) В качестве чего применяются симисторы?

12. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

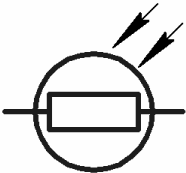
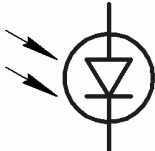
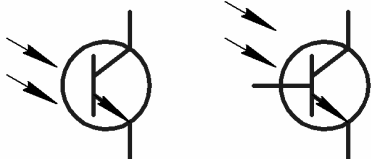
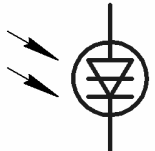
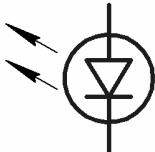
12.1 Общие сведения

Оптоэлектроника – это раздел электроники, в котором изучаются вопросы генерации, обработки и хранения информации на основе совместного использования оптических и электрических явлений.

Оптоэлектронный прибор – это полупроводниковый прибор, излучающий или преобразующий электромагнитное излучение инфракрасного, видимого и ультрафиолетового диапазона.

Виды изготавливаемых оптоэлектронных элементов, их условное графическое изображение и буквенно-цифровое обозначение представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Оптоэлектронные приборы

Наименование транзистора	Буквенно-цифровое обозначение	Условное графическое изображение на электрических схемах
Фоторезистор	R, BL	
Фотодиод	BL	
Фототранзистор	BL	
Фототиристор	BL	
Светодиод	HL	

Оптоэлектронные приборы работают со светом, а свет, как известно из курсов физики, это электромагнитная волна.

Оптоэлектронные приборы работают на механизмах двух видов фотоэффекта: внешний и внутренний фотоэффект.

Внешний фотоэффект – это явление выбивания электронов с поверхности металла под действием светового облучения. Внешний фотоэффект применяется в радиолампах.

Внутренний фотоэффект – это явление, заключающееся в образовании пары «электрон-дырка» в структуре полупроводника под воздействием электромагнитного излучения. Внутренний фотоэффект применяется в фоторезисторах, фотодиодах, фототранзисторах и фототиристорах.

В оптических цепях в качестве носителей сигналов выступают электрически нейтральные фотоны, которые в световом потоке не взаимодействуют между собой. Оптические цепи не взаимодействуют с электрическими и магнитными полями. В электрических цепях носителями заряда являются электроны, которые подвержены влиянию электрических и магнитных полей.

12.2 Фоторезисторы

Фоторезистор – это полупроводниковый прибор способный изменять свое внутреннее сопротивление под воздействием электромагнитного излучения.

Конструктивное исполнение фоторезистора представлено на рисунке 12.1. Фоторезистор имеет два контакта 6, между которыми располагается фоточувствительный слой 4. Для изготовления фоточувствительного слоя применяются следующие материалы: теллуристый кадмий (CdTe), сернистый висмут (BiS), сернистый кадмий (CdS).

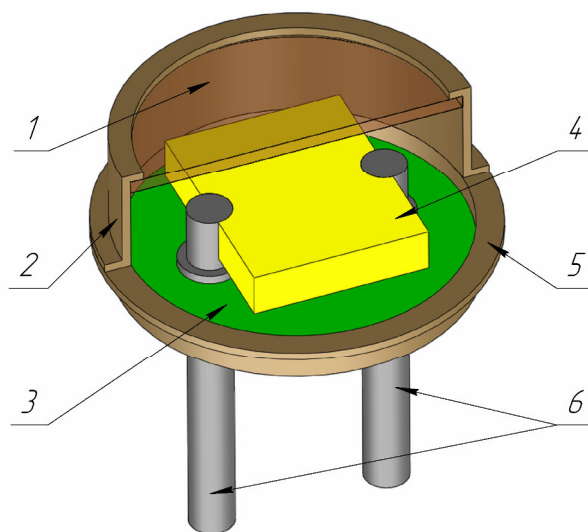


Рисунок 12.1 - Конструкция фоторезистора: 1 – окно из прозрачного пластика или стекла, 2 – крышка, 3 – диэлектрик, 4 – фотослой, 5 – основание, 6 – контакты.

Фоточувствительный слой помещают в герметичную камеру, состоящую из крышки 2 и основания 5. Для проникновения света в крышке 2 фоторезистора располагается окно 1, изготавливаемое из прозрачного пластика или стекла. Герметизация необходима для предотвращения попадания на фоточувствительный слой влаги и пыли, которые могут снизить чувствительность фото слоя. Так же внутри камеры располагается слой диэлектрика 3, который предотвращает контакта фоточувствительного слоя с камерой.

Как отмечалось ранее, у фоторезистора есть два контакта и фоточувствительный слой. Работа фоторезистора не зависит от полярности источника тока, поэтому контакты ни как не маркируются. Фоторезисторы находят свое применение в цепях переменного и постоянного тока в качестве датчиков наличия света.

Сопротивление фоторезистора зависит от светового потока Φ , при отсутствии света $\Phi_0 = 0$ фотослой обладает темновым сопротивлением (см. рис. 12.2а).

Темновое сопротивление – это максимальное сопротивление фоторезистора, которое бывает при отсутствии освещения.

Темновое сопротивление может достигать десятков МОм. При таком сопротивлении через фоторезистор протекает ток значение, которого практически нулевое $I_0 \approx 0$.

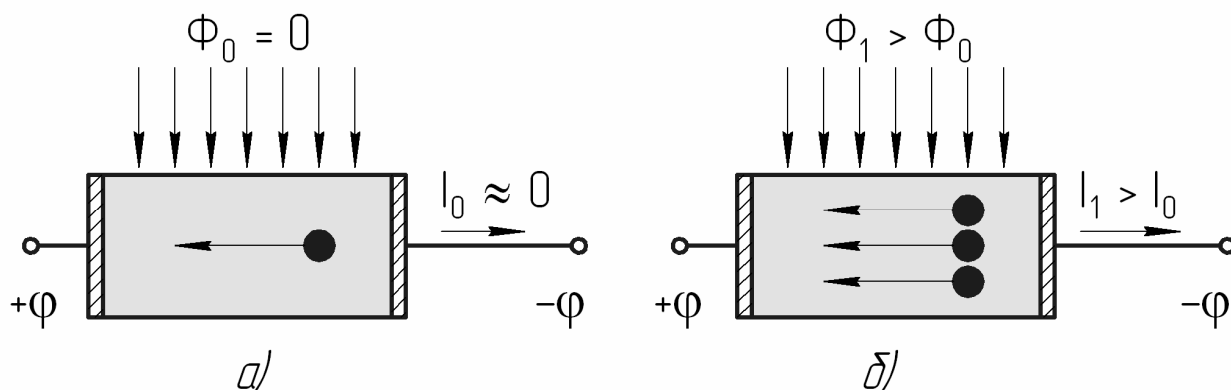


Рисунок 12.2 – Работа фоторезистора

При облучении фоточувствительной области некоторым значением света $\Phi_1 > \Phi_0$ повысится проводимость фотослая из-за поглощения электронами энергии излучения. Сопротивление фотослая снизится и через него начнет протекать более высокий ток (см. рис. 12.2б). Чем выше интенсивность электромагнитного излучения, тем меньше сопротивление фотослая.

На рисунке 12.3 представлена вольт-амперная характеристика фоторезистора. Так же как и у обычного резистора, ВАХ фоторезистора является прямой линией, отличием является то, что сопротивление будет

зависеть от внешнего излучения. Как видно из рисунка интенсивность светового потока Φ значительно влияет на сопротивление. Сопротивление фотослоя может уменьшиться при наличии света в 100 раз по сравнению с темновым сопротивлением.

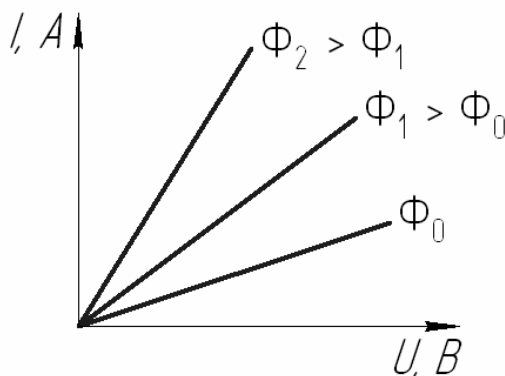


Рисунок 15.3 – ВАХ фоторезистора

Достоинством фоторезистора является возможность работы с постоянным и переменным током. Недостатком является зависимость сопротивления от температуры и продолжительное время рекомбинации носителей заряда после снятия внешнего излучения.

Фоторезисторы применяются в качестве датчиков освещенности, в сумеречных переключателях и других устройствах.

12.3 Фотодиоды

Фотодиод – это полупроводниковый диод на основе P-N перехода, способный генерировать носители заряда под воздействием электромагнитных волн.

При отсутствии светового потока $\Phi_0 = 0$, действующего на фоточувствительный слой, между контактами фотодиода не образуется разность потенциалов, так как нет свободных носителей заряда в областях P-типа и N-типа (см. рис. 12.4а).

При воздействии на фото слой фотодиода некоторого светового потока $\Phi_1 > \Phi_0$, фотоны света начнут провоцировать генерацию свободных носителей заряда, следовательно, начнут образовываться пары «электрон-дырка» (см. рис. 12.4б). Электроны начнут двигаться в сторону области N-типа, а дырки в сторону области P-типа. Это перемещение вызовет увеличение концентрации свободных носителей заряда в каждой из областей. В области P-типа будет формироваться положительный заряд, а в области N-типа отрицательный заряд. Вследствие чего между контактами появится напряжение. Чем интенсивней световой поток, тем выше концентрация свободных носителей заряда и тем выше напряжение между контактами.

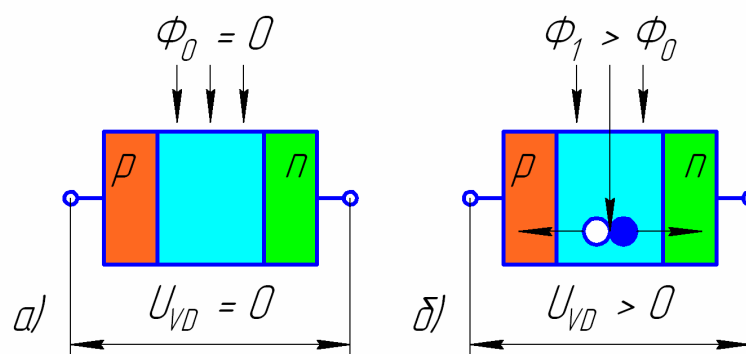


Рисунок 12.4 – Принцип работы фотодиода

Существует два способа включения фотодиодов: фотогальваническое и фотодиодное включение. Каждый из перечисленных способов имеет свои особенности и применяется в различных случаях.

Фотогальваническое включение (см. рис. 12.5а). Если подключить к контактам фотодиода $VD1$ нагрузку $R1$ и направить на фотодиод световой поток, то фотодиод начнет работать как источник постоянного тока и через нагрузку $R1$ начнет протекать постоянный ток I_{R1} . Фотогальваническое включение применяется в солнечных батареях.

Фотодиодное включение (см. рис. 12.5б). Если в цепь последовательно с нагрузкой $R1$ и фотодиодом $VD1$ включить источник постоянного тока $GB1$, то фотодиод будет включен в обратном запирающем направлении. В этом случае фотодиод будет работать в качестве датчика освещенности с возможностью вырабатывать ток при облучении светом. Чем выше интенсивность светового потока, тем меньше сопротивление фотодиода и тем выше протекающий в цепи ток I_{R1} . Фотодиодное включение применяется в тех случаях, когда необходимо отслеживать изменение освещенности, частота изменения которого незначительна, например, в датчиках частоты вращения.

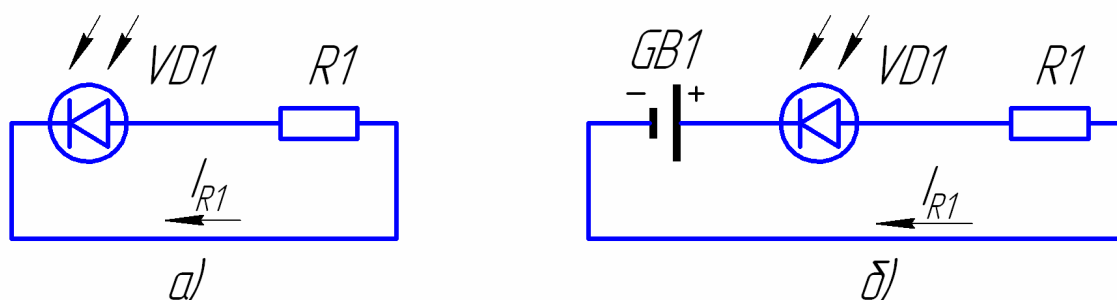


Рисунок 12.5 – Режимы работы фотодиода

12.4 Фототранзисторы

Фототранзистор – это транзистор, у которого одна из областей используется в качестве фоточувствительного слоя. В качестве фоточувствительного слоя выступает «база» (см. рис. 12.6), площадь этой

области стараются сделать максимально большой, для увеличения чувствительности.

Принцип работы аналогичен работе фотодиода с небольшим отличием. При воздействии на «базу» световым потоком, начнет протекать ток между «коллектором» и «эмиттером». Фототранзистор в отличие от фотодиода не способен работать как источник тока поскольку «коллектор» и «эмиттер» имеют одинаковый тип проводимости, поэтому эти элементы используют в качестве датчиков освещенности. Чувствительность к свету у фототранзисторов гораздо выше, чем у фотодиодов, так как они сохраняют усилительную способность, как и обычные транзисторы. Отличием фототранзистора от обычного транзистора является то, что в место управляющего тока на базу подается свет.

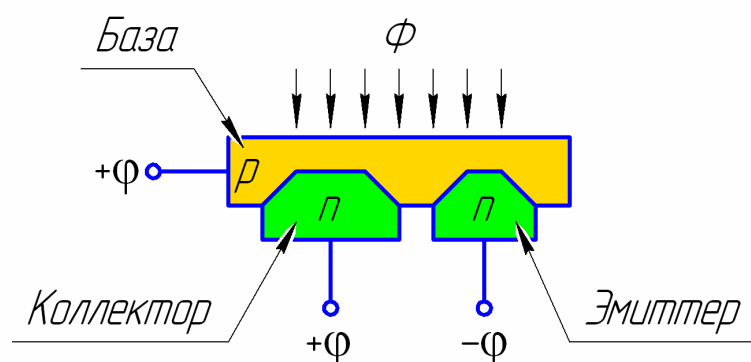


Рисунок 12.6 – Структура Фототранзистора

12.5 Фототиристоры

Фототиристор – это тиристор, у которого управляющая область выполнена в виде фоточувствительного слоя.

Фототиристоры содержат только два силовых контакта (анод и катод). А в качестве управляющего контакта выступает фотослой P_2 , для которого в корпусе изготавливается специальное окно (см. рис. 12.7). Принцип работы аналогичен работе обычного тиристора.

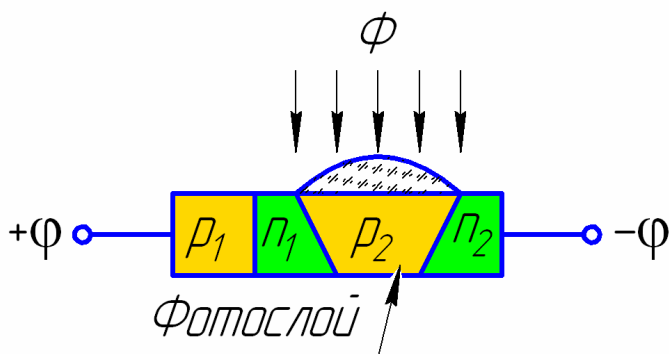


Рисунок 12.7 – Структура фототиристора

12.6 Светодиоды

Светодиод – это полупроводниковый диод, способный излучать электромагнитные волны при прохождении, через него прямого тока.

Конструкция светодиода представлена на рисунке 12.8

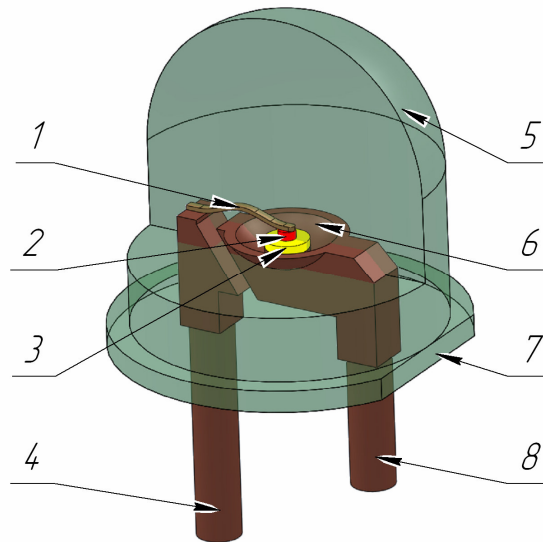


Рисунок 12.8 – Конструкция светодиода: 1 – золотая перемычка; 2 – кристалл р-типа проводимости; 3 – кристалл n-типа проводимости; 4 контакт анода; 5 – пластиковый корпус; 6 – отражатель; 7 – спил отображающий контакт катода; 8 – контакт катода

Принцип работы светодиода аналогичен работе выпрямительного диода с одним отличием (см. рис. 12.9). При прямом включении светодиода через P-N переход начинает протекать диффузионный ток. В тот момент, когда свободный электрон переходит из одной области в другую, происходит соединение электрона и дырки. При этом соединении происходит образование лучистой энергии $h\nu$, такой процесс называется *излучательной рекомбинацией*. Чем больше электронов пересекает область P-N перехода, тем выше интенсивность излучательной рекомбинации. При обратном включении этот процесс не протекает, так как P-N переход будет закрыт.

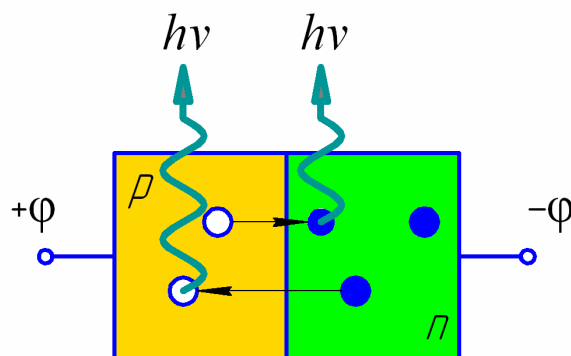


Рисунок 12.9 – Принцип работы светодиода

Свет излучения зависит от комбинации материалов Р-N перехода. В настоящее время выпускается светодиоды с излучением видимого света с тремя длинами электромагнитных волн (красный, синий и зеленый). Все остальные цвета получаются путем комбинации этих трех цветов.

Зеленое и красное излучение появилось еще в первой половине 20 века, так как для их получения не требуется применение сложной структуры Р-N перехода и редких материалов. Изобретение синего светодиода произошло только под конец 20 века, так как применяются редкие элементы и многослойной структурой. После появления синего светодиода появилась возможность получения светодиода с белым излучением.

Достоинства светодиода перед обычной лампой накаливания:

- продолжительный срок службы (практически вечны, если не превышать максимальное значение напряжения и силы тока);
- ударостойкость (обычно сплошная структура из пластика);
- низкое потребление электроэнергии;
- экологичность (не содержат ртуть и другие вредные вещества);
- практически отсутствует нагрев структуры светодиода.

Недостатки светодиода перед обычной лампой накаливания:

- высокая цена (так как применяются дорогие материалы);
- излучаемый свет не является теплым (светодиодные фары требуют наличия дополнительного источника тепла в зимний период).

12.7 Способы получения белого света

Для получения белого света применяется применение три способа:

- применение RGB светодиода;
- применение синего светодиода и желтого люминофора;
- применение ультрафиолетового светодиода и RGB люминофора.

Получение белого света с помощью RGB светодиода. Получение белого свечения (см. рис. 12.10а) можно добиться путем смешения излучения зеленого, красного и синего светодиода или RGB светодиода (R – красный, G – зеленый, B – синий). Сложение длин волн этих трех цветов дает образование белого света.

Этот способ является дорогим удовольствием, так как необходимо подбирать интенсивность свечения каждого из цветов, поскольку при работе потребляется много энергии. Этот способ получения белого света не используют для освещения, а применяется в различных светодиодных дисплеях для отображения различной информации. А так же применяется в декораторских целях.

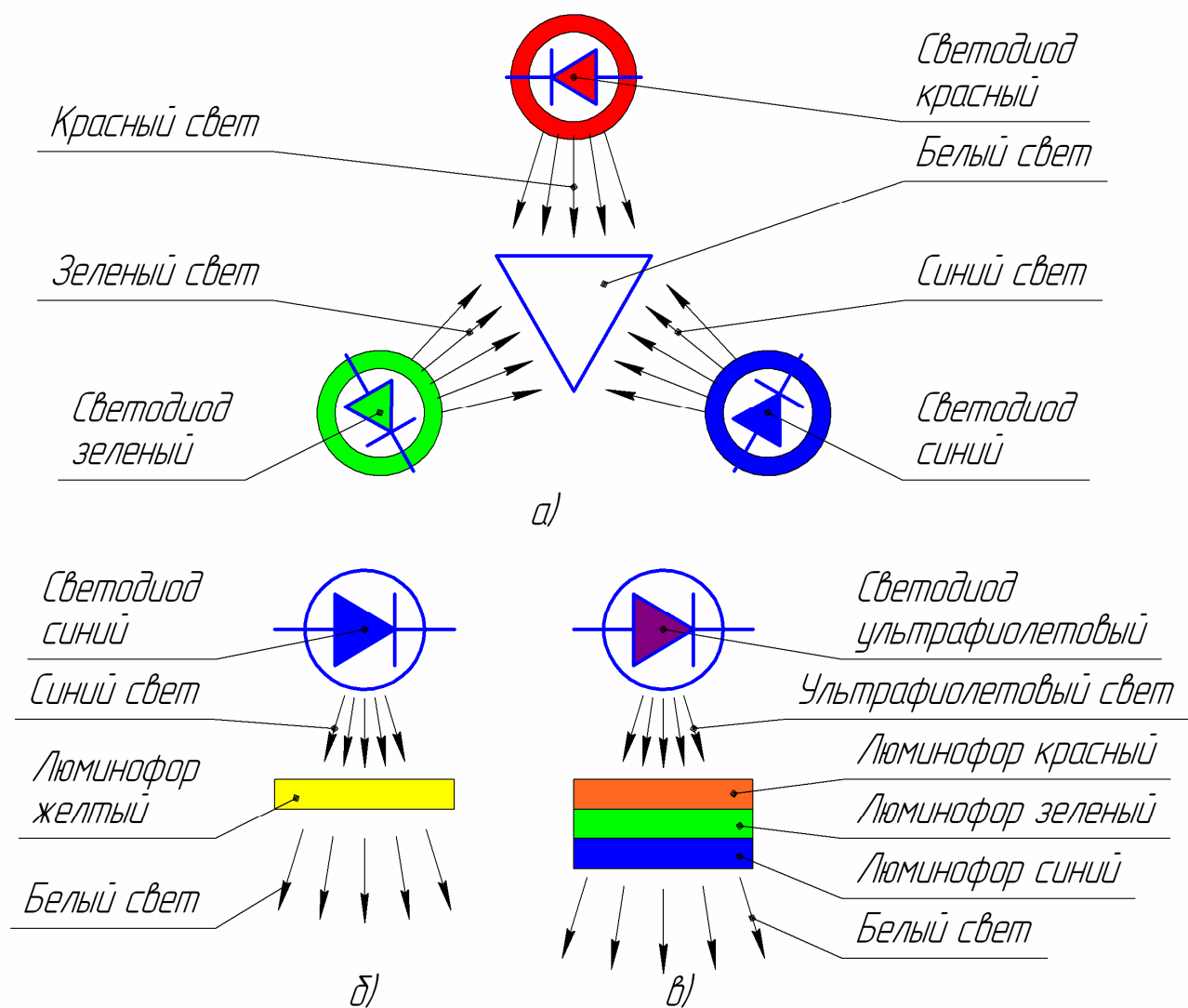


Рисунок 12.10 – Получение белого света

Применение синего светодиода и желтого люминофора. Данный способ (см. рис. 12.10б) получения белого света является простым и экономичным, так как применяется только один светодиод и люминофор.

Люминофор – вещество, способное светиться под действием внешних факторов (прохождение электрического тока или электромагнитных волн).

Люминесценция – холодное свечение некоторых веществ, вызываемое различными причинами (воздействием света, прохождением электрического тока).

При прохождении синего света через желтый люминофор происходит его свечение и в результате на выходе получается белый свет. В данном случае необходимо подобрать параметры свечения светодиода и толщину слоя люминофора. Этот способ применяется для белых светодиодов.

Применение ультрафиолетового светодиода и RGB люминофора. Этот способ использует технологии, которые применяются для производства люминесцентных ламп (см. рис. 12.10в). Этот способ менее эффективен, чем второй, так как происходит потеря мощности при преобразовании света в трех

люминофорах. При этом каждый из них требует определенные параметры проходящего света, в результате яркость света уменьшается.

12.8 Контрольные вопросы

- 1) Что такое оптоэлектронный прибор?
- 2) Какие существуют виды оптоэлектронных приборов?
- 3) Какие бывают виды фотоэффекта?
- 4) На чем основан принцип работы оптоэлектронных приборов?
- 5) Что такое фоторезистор?
- 6) Чем отличается структура фоторезистора от обычного резистора?
- 7) Какие материалы применяются для создания фоточувствительного слоя у фоторезисторов?
- 8) Для чего корпус фоторезистора имеет прозрачное окно?
- 9) Что такое фотодиод?
- 10) В каких режимах может работать фотодиод?
- 11) Где применяются фотодиоды?
- 12) Чем отличается фотодиод от выпрямительного диода?
- 13) Что такое фототранзистор?
- 14) Чем отличается фототранзистор от биполярного транзистора?
- 15) Чем отличается фототранзистор от фотодиода?
- 16) Что такое фототиристор?
- 17) Чем отличается фототиристор от тиристора?
- 18) Что такое светодиод?
- 19) На чем основан принцип работы светодиода?
- 20) От чего зависит свет, излучаемый светодиодом?
- 21) Какие существуют способы получения белого света излучаемого светодиодом?
- 22) Какой из способов получения белого света является наиболее приемлемым?

13 СЛОВАРЬ

Автотрансформаторы – трансформаторы, у которых коэффициент трансформации можно регулировать в определенных пределах с помощью специальной рукоятки.

Акцептор – это примесный атом, который создает в кристаллической решетке дефицит электронов.

Амперметр – это электроизмерительный прибор, который применяется для измерения величины силы тока, протекающего по участку электрической цепи.

База – это среднюю область биполярного транзистора расположенная между двумя Р-N переходами.

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор с двумя или более взаимодействующими выпрямляющими электрическими переходами, предназначенный для усиления и генерации электрических сигналов.

Ваттметр – это электроизмерительный прибор, который применяется для измерения величины потребляемой мощности участком цепи.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) – это зависимость напряжения от тока (или тока от напряжения) на участке электрической цепи, выражаемая обычно в виде графика.

Вольтметр – это электроизмерительный прибор, который применяется для измерения величины напряжения или разности потенциалов на некотором участке электрической цепи.

Выпрямитель – это устройство, которое предназначено для преобразования переменного тока в постоянный ток.

Генератор – это электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую энергию.

Генерация – это процесс, при котором происходит образование свободных электронов и дырок или пары «электрон-дырка».

Градуировка – операция, при помощи которой измерительный прибор снабжают шкалой.

Двигатель – это электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую энергию.

Демпфер – это устройство, предназначенное для гашения колебаний, возникающих при повороте стрелки во время измерений.

Диаманетики – это материалы, намагничивающиеся навстречу направлению внешнего магнитного поля (не магнитные материалы).

Диод выпрямительный – это полупроводниковый прибор с односторонней проводимостью электрического тока.

Диод полупроводниковый – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим переходом и двумя контактами.

Диодный мост – это диодная сборка, состоящая из четырех или шести выпрямительных диодов, предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный пульсирующий ток.

Диффузия – это процесс перемещения носителей заряда из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией.

Диэлектрики – это материалы, которые не обладают электропроводностью, так как не содержат свободных носителей заряда.

Донор – это примесный атом, который создает в кристаллической решетке избыток электронов.

Дрейф – это процесс обратного перемещения носителей заряда, приводящий к увеличению концентрации носителей заряда в областях Р-типа и N-типа проводимости.

Дырка – это незаполненный энергетический уровень.

Ёмкостные элементы – это элементы, которые способны накапливать и удерживать на себе электрический заряд.

Затвор – это область полевого транзистора, предназначенная для управления токовой проводимостью канала.

Излучательная рекомбинация – это процесс заполнения свободным электроном незаполненного энергетического уровня, при котором происходит образование лучистой энергии.

Измерение – операция, посредством которой определяется отношение одной физической величины к другой однородной физической величине принимаемой за единицу.

Измерение косвенное – это вид измерения, при котором определение требуемой физической величины осуществляется по результатам математических вычислений.

Измерение прямое – это вид измерения, при котором определение требуемой физической величины осуществляется непосредственно по показаниям электроизмерительных приборов.

Индуктивные элементы – это элементы, работа которых связана с созданием или с преобразованием магнитного поля.

Индуктор – это не подвижная часть машины постоянного тока.

Исток (выход) – это область полевого транзистора, предназначенная для выхода носителей заряда.

Канал – это область полевого транзистора, соединяющая вход и выход полевого транзистора.

Клеммник – это конструктивный элемент, предназначенный для механического соединения обмоток трансформатора с электрической цепью.

Коллектор – это область транзистора, основным назначением которой является экстракция носителей заряда из области базы.

Коллекторный переход – это P-N переход, расположенный между коллектором и базой.

Конденсатор – электронный компонент, предназначенный для накопления электрического заряда.

Конденсатор неполярный – это конденсатор, который обладает постоянной ёмкостью, и его работа не зависит от полярности приложенного напряжения.

Конденсатор переменный – это конденсатор, обладающий непостоянной ёмкостью, предназначен для многократного изменения своей ёмкости.

Конденсатор подстроечный – это конденсатор, обладающий непостоянной ёмкостью, и предназначенный для единичных изменений своей ёмкости в процессе настройки радиоаппаратуры.

Конденсатор полярный (электролитический) – это конденсатор, обладающий постоянной ёмкостью и строго требующий соблюдения полярности приложенного напряжения.

Коэффициент трансформации – это коэффициент, показывающий во сколько раз число витков вторичной обмотки больше числа витков первичной обмотки.

Люминесценция – это холодное свечение некоторых веществ, вызываемое различными причинами (воздействием света, прохождением электрического тока).

Люминофор – это вещество, способное светиться под действием внешних факторов (прохождение электрического тока или электромагнитных волн).

Магнитное поле – силовое поле, возникающее вокруг проводника, по которому протекает электрический ток.

Магнитно-мягкие материалы – это ферромагнитные материалы, которые остаются слабо намагниченными после снятия внешнего магнитного поля.

Магнитно-твёрдые материалы – это ферромагнитные материалы, которые сохраняют намагниченность после снятия внешнего магнитного поля.

Магнитопровод – это конструктивный элемент, предназначенный для усиления и распространения магнитного потока в нужном направлении.

Машина синхронная – это электрическая машина, у которой частота вращения ротора совпадает с частотой вращения магнитного поля статора.

Машина асинхронная – это электрическая машина, у которой частота вращения ротора не совпадает с частотой вращения магнитного поля статора, при этом ротор вращается медленнее.

Механические переключатели – это устройства коммутации, предназначенные для замыкания или размыкания электрической цепи.

МОП транзистор со встроенным каналом – это МОП транзистор, у которого между областями стока и истока располагается токопроводящий канал, отделенный от затвора слоем диэлектрика.

МОП транзистор с индуцированным каналом – это МОП транзистор, у которого между областями стока и истока нет токопроводящего канала.

Мультивибратор – это автогенератор электрических прямоугольных импульсов.

Напряжение отсечки – это напряжение, которое вызывает перекрытие канала полевого транзистора.

Номинальная емкость – это постоянное значение ёмкости конденсатора, которое задается при его изготовлении.

Номинальная мощность – это максимальное значение мощность, которую может потреблять резистор.

Номинальное сопротивление – это постоянное значение сопротивления резистора, которое задается резистору при его изготовлении.

Обмотка вторичная – это обмотка (одна или более), к которой подключается нагрузка и предназначенная для выхода преобразованного напряжения.

Обмотка первичная – это обмотка, которая подключается к источнику переменного тока и предназначена для входа напряжения, которое следует преобразовать.

Омический переход – это переход, который образуется при контакте металла с полупроводником, при этом переход способен пропускать ток при прямом и обратном включении.

Оптоэлектроника – это раздел электроники, в котором изучаются вопросы генерации, обработки и хранения информации на основе совместного использования оптических и электрических явлений.

Оптоэлектронный прибор – это полупроводниковый прибор, излучающий или преобразующий электромагнитное излучение инфракрасного, видимого и ультрафиолетового диапазона.

Отрицательно заряженный объект – это объект, у которого концентрация отрицательных зарядов превышает концентрацию положительных зарядов.

Парамагнетики – это материалы, намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению внешнего магнитного поля, но обладающие слабыми магнитными свойствами.

Погрешность абсолютная – это модуль разности действительного значения физической величины и значения физической величины полученной при измерениях.

Погрешность относительная – это отношение абсолютной погрешности к действительному значению физической величины выраженное в процентах.

Подложка – это область полевого транзистора, являющаяся основанием на котором собирается полевой транзистор.

Полевой транзистор – это транзистор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем.

Полевой транзистор с изолированным затвором (МОП транзистор) – это транзистор, у которого затвор электрически отделен от токопроводящего канала слоем диэлектрика.

Полевой транзистор с управляющим p-n переходом – это транзистор, где управление потоком основных носителей зарядов происходит с помощью выпрямляющего P-N перехода.

Положительно заряженный объект – это объект, у которого концентрация положительных зарядов превышает концентрацию отрицательных зарядов.

Полупроводники – это материалы, которые обладают односторонней электропроводимостью.

Полупроводниковые элементы – это элементы, которые используют свойство односторонней электропроводимости полупроводниковых материалов.

Потенциальный барьер – это область, возникающая между областями с разным типом проводимости, в которой нет свободных носителей заряда.

Приборы рабочие – это приборы непосредственно связанные с измерением физических величин.

Приборы эталонные – это приборы, предназначенные для проверки правильности показаний рабочих приборов и градуировки новых приборов.

Пробивное напряжение (напряжение пробоя) – это максимальное значение напряжение, которое может быть подано на контакты конденсатора.

Пробой необратимый – это пробой, который приводит к полному или частичному разрушению внутренней структуры полупроводника, вследствие чего P-N переход теряет свои выпрямительные свойства.

Пробой обратимый – это пробой, который не приводит к разрушению внутренней структуры полупроводника, следовательно, P-N переход сохраняет свою работоспособность.

Проводники – это материалы, хорошо проводящие электрический ток и содержащие большое количество свободных носителей заряда.

Прокол базы – это пробой биполярного транзистора, происходящий при соприкосновении коллекторного и эмиттерного перехода.

Радиолампа – это электронный компонент, выполненный в виде газовой трубки и предназначенный для усиления электрических сигналов.

Реверсирование – изменение направления вращения.

Резистивные элементы – это элементы, которые выступают в роли электрической нагрузки, так как оказывают сопротивление движению через них току.

Резистор – электронный компонент, предназначенный для регулировки и ограничения силы тока и напряжения.

Резистор переменный – это резистор, который обладает переменным сопротивлением и предназначен для много кратного изменения своего сопротивления.

Резистор подстроечный – это резистор, который обладает переменным сопротивлением и предназначен для единичного изменения своего сопротивления.

Рекомбинацией – это процесс, при котором электрон заполняет незаполненный энергетический уровень.

Реле – это электрический элемент, в котором управление контактами переключателя осуществляется электромагнитом.

Реле времени – это устройство, контакты которого замыкаются (или размыкаются) с некоторой задержкой во времени после получения управляющего сигнала.

Ротор – это подвижная часть машины переменного тока, совершает вращательные движения.

Светодиод – это полупроводниковый диод, способный излучать электромагнитные волны при прохождении, через него прямого тока.

Свободный электрон – это электрон, потерявший свое место в кристаллической решетке.

Сила тока – это характеристика электрического тока равна отношению заряда переносимого через проводника за единицу времени.

Симистор – это симметричный тиристор, который применяется для коммутации нагрузки в цепях переменного тока.

Соленоид – это катушка индуктивности обычно в виде намотанного на цилиндрическую поверхность изолированного проводника, по которому протекает электрический ток.

Сопротивление темновое – это максимальное сопротивление фоторезистора, которое бывает при отсутствии освещения.

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, способный пропускать ток в широком диапазоне при малом изменении обратного напряжения.

Статор – это неподвижная часть машины переменного тока.

Сток (вход) – это область полевого транзистора, предназначенная для входа носителей заряда.

Терморезистор – это резистор, обладающий свойством существенно изменять своё электрическое сопротивление при изменении температуры.

Тензорезистор – это резистор, изменяющий свое сопротивление при деформации (сжатии или растяжении).

Тиристор – полупроводниковый прибор с тремя или более P-N переходами, вольт-амперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, который используется для переключения.

Ток переменный – это ток, который меняет свое направление и величину через равные промежутки времени.

Ток постоянный – это ток, который не меняет свое направление и величину в любой промежуток времени.

Точка Кюри – это температура выше, которой ферромагнитный материал теряет способность намагничиваться.

Трансформатор – это электрическая машина, предназначенная для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Трансформатор броневой – это трансформатор, у которого первичная и вторичная обмотка располагаются на одном стержне.

Трансформатор закрытого типа – это трансформатор, который в качестве охлаждающей среды использует жидкость с принудительным или естественным охлаждением.

Трансформатор измерительный – это трансформатор, применяемый исключительно для подключения измерительных приборов.

Трансформатор однофазный – это трансформатор, у которого одна первичная обмотка и одна или несколько вторичных обмоток.

Трансформатор открытого типа – это трансформатор, который в качестве охлаждающей среды использует воздух с принудительным или естественным охлаждением.

Трансформатор повышающий – это трансформатор, у которого напряжение на первичной обмотке меньше чем напряжение на вторичной обмотке.

Трансформатор понижающий – это трансформатор, у которого напряжение на первичной обмотке больше чем напряжение на вторичной обмотке.

Трансформатор силовой – это трансформатор, предназначенный для передачи электроэнергии и для питания разнообразной бытовой техники (электродвигатели, электронные лампы).

Трансформатор специальный – это трансформатор, который имеет узкую специализацию, например сварочные трансформаторы.

Трансформатор стержневой – это трансформатор, у которого каждая обмотка располагается на своем стержне.

Трансформатор трехфазный – это трансформатор, у которого три первичных обмотки и три вторичных обмотки обычно соединенные по схеме «звезда» или «треугольник».

Ферромагнетики – это материалы, намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению внешнего магнитного поля и обладающие сильными магнитными свойствами.

Фотодиод – это полупроводниковый диод на основе P-N перехода, способный генерировать носители заряда под воздействием электромагнитных волн.

Фоторезистор – это полупроводниковый прибор способный изменять свое внутреннее сопротивление под воздействием электромагнитного излучения.

Фототиристор – это тиристор, у которого управляющая область выполнена в виде фоточувствительного слоя.

Фототранзистор – это транзистор, у которого одна из областей используется в качестве фоточувствительного слоя.

Фотоэффект внешний – это явление выбивания электронов с поверхности металла под действием светового облучения.

Фотоэффект внутренний – это явление, заключающееся в образовании пары «электрон-дырка» в структуре полупроводника под воздействие электромагнитного излучения.

Цена деления – значение измеряемой величины, вызывающее отклонение показывающего устройства на одно деление шкалы.

Электрическая схема – это графическое изображение электрической цепи, в котором реальные элементы представлены в виде условных обозначений.

Электрическая цепь – это совокупность источников и потребителей электрической энергии и соединяющих их проводов.

Электрический заряд – это количественный параметр, определяющий концентрацию носителей заряда.

Электрический потенциал – это энергетический параметр, определяющий величину работы, которую может совершить заряженный объект по перемещению единичного электрического заряда.

Электрический ток – это упорядоченное движение электрически заряженных частиц.

Электрический переход – это граничный слой между областями, физические характеристики которых существенно отличаются между собой.

Электрическое напряжение – это разность потенциалов двух заряженных объектов.

Электромагнит – электротехническое устройство, состоящее обычно из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника, который намагничивается при прохождении по обмотке электрического тока.

Электроника – это наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств, в которых это взаимодействие используется для обработки и хранения информации.

Электропривод – совокупность устройств, предназначенных для преобразования электрической энергии в механическую энергию с возможностью регулирования преобразованной энергии.

Электротехника – это отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения и изменения химического состава веществ, производства и обработки материалов, передачи информации, охватывающая вопросы получения, преобразования и использования электрической энергии в практической деятельности человека.

Элементы активные (или нелинейные) – это элементы, у которых вольт-амперная характеристика представляет собой изогнутую линию.

Элементы пассивные (или линейные) – это элементы, у которых вольт-амперная характеристика представляет прямую непрерывную линию, проходящую через начало координат.

Эмиттер – это область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей заряда в область базы.

Эмиттерный переход – это P-N переход, расположенный между эмиттером и базой.

Якорь – это подвижная часть машины постоянного тока.