

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Брасовский промышленно-экономический техникум

Е.Г. Чапурина

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Учебное пособие по изучению дисциплины

Брянская область 2015

УДК 372.862
ББК 74.57
Ч 19

Чапурина, Е.Г. **Основы электротехники**: учебное пособие по изучению дисциплины / Е.Г. Чапурина. – Локоть: Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015.- 63 с.

Учебное пособие по изучению дисциплины соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» и предназначено для освоения студентами учебной дисциплины «Основы электротехники». Лаконичное и четкое изложение материала, продуманный отбор необходимых тем позволяют быстро и качественно подготовиться к урокам и экзаменам по данной учебной дисциплине.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»

Рецензенты:

Астахова О.М., преподаватель технических дисциплин (Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

Другова Г.Е., методист (Брасовский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

Рекомендовано к изданию решением учебно-методическим советом филиала ФГБОУ ВО «Брянский аграрный университет» - Брасовский промышленно-экономический техникум от 25.05.2015 года, протокол № 5.

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015
© Чапурина Е.Г., 2015

Содержание:	стр.
Раздел 1. Основы электротехники.	
Тема 1.1. Электрическое и магнитное поля.....	4
Тема 1.2. Электрические цепи постоянного тока	
Основы расчета электрических цепей постоянного тока.....	9
Тема 1.3. Электрические цепи переменного тока.....	11
Тема 1.4. Трехфазные электрические цепи.....	15
Раздел 2. Электрические машины.	
Тема 2.1 Трансформаторы.....	18
Тема 2.2 Электрические машины переменного тока.....	23
Тема 2.3 Электрические машины постоянного тока.....	24
Раздел 3. Электропривод.	
Тема 3.1 Основы электропривода.....	28
Тема 3.2 Аппаратура управления и защиты.....	31
Раздел 4. Электрическое оборудование строительных площадок.	
Тема 4.1 Электрооборудование сварочных установок.....	36
Тема 4.2 Электрооборудование строительных кранов и подъемников.....	38
Тема 4.3 Электрифицированные ручные машины и электроинструменты.....	40
Раздел 5. Электроснабжение строительной площадки.	
Тема 5.1. Источники, передача и распределение электрической энергии.....	44
Тема 5.2.Электрические сети и освещение строительной площадки.....	46
Тема 5.3 Расчет электроэнергии. Энергосберегающие технологии...50	
Тема 5.4 Электробезопасность на строительной площадке.....52	
Раздел 6. Основы электроники.	
Тема 6.1 Физические основы электроники, электронные приборы...54	
Тема 6.2 Полупроводниковые приборы.....58	
Перечень рекомендуемой литературы.....62	

Раздел 1. Основы электротехники

Тема 1.1. Электрическое и магнитное поля

Пространство, окружающее электрические заряды, в котором проявляются силы, действующие на внесенные в него электрические заряды, называется электрическим полем.

Заряд, находящийся в электрическом поле, движется в направлении силы, действующей на него со стороны поля. Состояние покоя такого заряда возможно лишь тогда, когда к заряду приложена какая-либо внешняя (сторонняя) сила, уравнивающая силу электрического поля.

Как только нарушается равновесие между сторонней силой и силой поля, заряд снова приходит в движение. Направление его движения всегда совпадает с направлением большей силы.

Для наглядности электрическое поле принято изображать так называемыми силовыми линиями электрического поля. Эти линии совпадают с направлением сил, действующих в электрическом поле. При этом условились проводить столько линий, чтобы их число на каждый 1 см² площадки, установленной перпендикулярно к линиям, было пропорционально силе поля в соответствующей точке.

За направление поля условно принято направление силы поля, действующей на положительный заряд, помещенный в данное поле. Положительный заряд отталкивается от положительных зарядов и притягивается к отрицательным. Следовательно, поле направлено от положительных зарядов к отрицательным.

Направление силовых линий обозначается на чертежах стрелками. Наукой доказано, что силовые линии электрического поля имеют начало и конец, т. е. они не замкнуты сами на себя. Исходя из принятого направления поля, устанавливаем, что силовые линии начинаются на положительных зарядах (положительно заряженных телах) и заканчиваются на отрицательных.

На рис. 1 показаны примеры электрического поля, изображенного при помощи силовых линий. Нужно помнить, что силовые линии электрического поля — это лишь способ графического изображения поля. Большого содержания в понятие силовой линии здесь не вкладывается.

Закон Кулона

Сила взаимодействия двух зарядов зависит от величины и взаимного расположения зарядов, а также от физических свойств окружающей их среды.

Для двух наэлектризованных физических тел, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между телами, сила взаимодействия математически определяется следующим образом:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

где F - сила взаимодействия зарядов в ньютонах (Н), k - расстояние между зарядами в метрах (м), Q_1 и Q_2 - величины электрических зарядов в кулонах (к), k — коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от свойств среды, окружающей заряды.

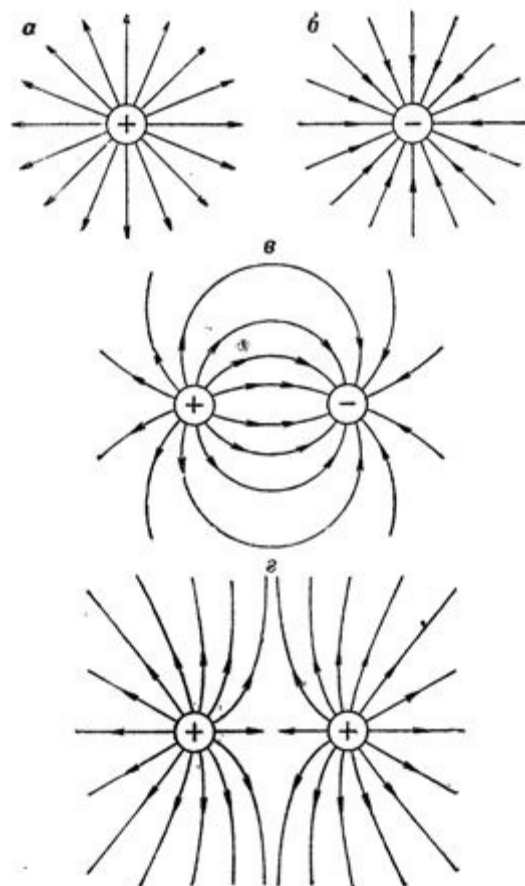


Рис. 1. Примеры изображения электрического поля при помощи силовых линий:
 а — электрическое поле одиночного положительного заряда, б — электрическое поле
 одиночного отрицательного заряда, в — электрическое поле двух разноименных зарядов,
 г — электрическое поле двух одноименных зарядов

Приведенная формула читается так: сила взаимодействия между двумя точечными зарядами прямо пропорциональна произведению величин этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними (закон Кулона).

Для определения коэффициента пропорциональности k служит выражение $k = 1/(4\pi\epsilon\epsilon_0)$.

Потенциал электрического поля

Электрическое поле всегда сообщает движение заряду, если силы поля, действующие на заряд, не уравновешиваются какими-либо сторонними силами. Это говорит о том, что электрическое поле обладает потенциальной энергией, т.е. способностью совершать работу.

Перемещая заряд из одной точки пространства в другую, электрическое поле совершает работу, в результате чего запас потенциальной энергии поля уменьшается. Если заряд перемещается в электрическом поле под действием какой-либо сторонней силы, действующей навстречу силам поля, то работа совершается не силами электрического поля, а сторонними силами. В этом случае потенциальная энергия поля не только не уменьшается, а, наоборот, увеличивается.

Работа, которую совершает сторонняя сила, перемещая в электрическом поле заряд, пропорциональна величине сил поля, противодействующих этому перемещению. Совершаемая при этом сторонними силами работа полностью

расходуется на увеличение потенциальной энергии поля. Для характеристики поля со стороны его потенциальной энергии принята величина, называемая потенциалом электрического поля.

Сущность этой величины состоит в следующем. Предположим, что положительный заряд находится за пределами рассматриваемого электрического поля. Это значит, что поле практически не действует на данный заряд. Пусть сторонняя сила вносит этот заряд в электрическое поле и, преодолевая сопротивление движению, оказываемое силами поля, переместит заряд в данную точку поля. Работа, совершаемая силой, а значит, и величина, на которую увеличилась потенциальная энергия поля, зависит всецело от свойств поля. Следовательно, эта работа может характеризовать энергию данного электрического поля.

Энергия электрического поля, отнесенная к единице положительного заряда, помещенного в данную точку поля, и называется потенциалом поля в данной его точке.

Если потенциал обозначить буквой ϕ , заряд - буквой q и затраченную на перемещение заряда работу — W , то потенциал поля в данной точке выразится формулой $\phi = W/q$.

Из сказанного следует, что потенциал электрического поля в данной его точке численно равен работе, совершаемой сторонней силой при перемещении единицы положительного заряда из-за пределов поля в данную точку. Потенциал поля измеряется в вольтах (В). Если при переносе одного кулона электричества из-за пределов поля в данную точку сторонние силы совершили работу, равную одному джоулю, то потенциал в данной точке поля равен одному вольту: 1 вольт = 1 джоуль / 1 кулон

Напряжение электрического поля

В любом электрическом поле положительные заряды перемещаются от точек с более высоким потенциалом к точкам с потенциалом более низким. Отрицательные заряды перемещаются, наоборот, от точек с меньшим потенциалом к точкам с большим потенциалом. В обоих случаях работа совершается за счет потенциальной энергии электрического поля.

Если нам известна эта работа, т. е. величина, на которую уменьшилась потенциальная энергия поля при перемещении положительного заряда q из точки 1 поля в точку 2, то легко найти напряжение между этими точками поля $U_{1,2}$:

$$U_{1,2} = A/q,$$

где A — работа сил поля при переносе заряда q из точки 1 в точку 2. Напряжение между двумя точками электрического поля численно равно работе, которую совершает поле для переноса единицы положительного заряда из одной точки поля в другую.

Как видно, напряжение между двумя точками поля и разность потенциалов между этими же точками представляют собой одну и ту же физическую сущность. Поэтому термины напряжение и разность потенциалов суть одно и то же. Напряжение измеряется в вольтах (В).

Напряжение между двумя точками равно одному вольту, если при переносе одного кулона электричества из одной точки поля в другую силы поля совершают работу, равную одному джоулю: $1 \text{ вольт} = 1 \text{ джоуль} / 1 \text{ кулон}$

Напряженность электрического поля

Из закона Кулона следует, что величина силы электрического поля данного заряда, действующей на помещенный в этом поле другой заряд, не во всех точках поля одинакова. Характеризовать электрическое поле в каждой его точке можно величиной силы, с которой оно действует на единичный положительный заряд, помещенный в данной точке.

Зная эту величину, можно определить силу F , действующую на любой заряд Q . Можно написать, что $F = Q \times E$, где F — сила, действующая со стороны электрического поля на заряд Q , помещенный в данную точку поля, E — сила, действующая на единичный положительный заряд, помещенный в эту же точку поля. Величина E , численно равная силе, которую испытывает единичный положительный заряд в данной точке поля, называется напряженностью электрического поля.

Магнитное поле - форма существования материи, окружающей движущиеся электрические заряды (проводники с током, постоянные магниты). Это название обусловлено тем, что, как обнаружил в 1820 году датский физик Ханс Эрстед, оно оказывает ориентирующее действие на магнитную стрелку. Опыт Эрстеда: под проволокой с током помещалась магнитная стрелка, вращающаяся на игле. При включении тока она устанавливалась перпендикулярно проволоке; при изменении направления тока поворачивалась в противоположную сторону. Основные свойства магнитного поля: порождается движущимися электрическими зарядами, проводниками с током, постоянными магнитами и переменным электрическим полем; действует с силой на движущиеся электрические заряды, проводники с током, намагниченные тела; переменное магнитное поле порождает переменное электрическое поле. Из опыта Эрстеда следует, что магнитное поле имеет направленный характер и должно иметь векторную силовую характеристику. Ее обозначают и называют магнитной индукцией. Магнитное поле изображается графически с помощью магнитных силовых линий или линий магнитной индукции. Магнитными силовыми линиями называются линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются железные опилки или оси маленьких магнитных стрелок. В каждой точке такой линии вектор направлен по касательной. Линии магнитной индукции всегда замкнуты, что говорит об отсутствии в природе магнитных зарядов и вихревом характере магнитного поля. Условно они выходят из северного полюса магнита и входят в южный. Густота линий выбирается так, чтобы число линий через единицу площади, перпендикулярную магнитному полю, было пропорционально величине магнитной индукции. Направление линий определяется правилом правого винта. Соленоид - катушка с током, витки которой расположены вплотную друг к другу, а диаметр витка много меньше длины катушки. Магнитное поле внутри соленоида является однородным. Магнитное поле называется однородным, если вектор в любой точке постоянен. Магнитное поле соленоида аналогично магнитному полю полосового магнита. Соленоид с током представляет собой электромаг-

нит. Опыт показывает, что для магнитного поля, как и для электрического, справедлив принцип суперпозиции: индукция магнитного поля, создаваемого несколькими токами или движущимися зарядами, равна векторной сумме индукций магнитных полей, создаваемых каждым током или зарядом: Вектор вводится одним из 3-х способов: а) из закона Ампера; б) по действию магнитного поля на рамку с током; в) из выражения для силы Лоренца. Ампер экспериментально установил, что сила с которой магнитное поле действует на элемент проводника с током I , находящегося в магнитном поле, прямо пропорциональна силе тока I и векторному произведению элемента длины на магнитную индукцию: $F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$ - закон Ампера. Направление вектора может быть найдено согласно общим правилам векторного произведения, откуда следует правило левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы магнитные силовые линии входили в нее, а 4 вытянутых пальца направить по току, то отогнутый большой палец покажет направление силы. Сила, действующая на провод конечной длины, найдется интегрированием по всей длине. При $I = \text{const}$, $B = \text{const}$, $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$. Если $\alpha = 90^\circ$, $F = B \cdot I \cdot l$. Индукция магнитного поля - векторная физическая величина, численно равная силе, действующей в однородном магнитном поле на проводник единичной длины с единичной силой тока, расположенный перпендикулярно магнитным силовым линиям. 1Тл - индукция однородного магнитного поля, в котором на проводник длиной 1м с током в 1А, расположенный перпендикулярно магнитным силовым линиям, действует сила 1Н. До сих пор мы рассматривали макроток, текущие в проводниках. Однако, согласно предположению Ампера, в любом теле существуют микроскопические токи, обусловленные движением электронов в атомах. Эти микроскопические молекулярные токи создают свое магнитное поле и могут поворачиваться в полях макротоков, создавая в теле дополнительное магнитное поле. Вектор характеризует результирующее магнитное поле, создаваемое всеми макро- и микроток, т.е. при одном и том же макроток вектор в различных средах имеет разные значения. Магнитное поле макротоков описывается вектором магнитной напряженности. Для однородной изотропной среды, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ - магнитная постоянная, $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ - магнитная проницаемость среды, показывающая, во сколько раз магнитное поле макротоков изменяется за счет поля микротоков среды.

Тема 1.2. Электрические цепи постоянного тока

Электрической цепью называют совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, токе и напряжении.

Элемент электрической цепи, параметры которого (сопротивление и др.) не зависят от тока в нем, называют линейным, в противном случае — нелинейным.

Линейная электрическая цепь — цепь, все элементы которой являются линейными.

Нелинейная электрическая цепь — цепь, содержащая хотя бы один нелинейный элемент.

Электрическая схема — графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и способы их соединения. Электрическая схема простейшей электрической цепи с источником ЭДС, обладающим внутренним сопротивлением R_0 , и приемником электрической энергии с сопротивлением R_n , представлена на рис. 1.1.

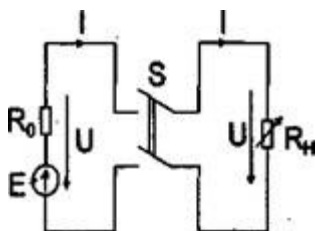


Рис. 1.1.

Ветвь электрической цепи (схемы) — участок цепи с одним и тем же током. Ветвь может состоять из одного или нескольких последовательно соединенных элементов. Количество ветвей в электрической схеме принято обозначать буквой «р».

Узел — место соединения трех и более ветвей. Ветви, присоединенные к одной паре узлов, называют параллельными. Число узлов принято обозначать буквой «q».

Контур — любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

Независимый контур — контур, в состав которого входит хотя бы одна ветвь, не принадлежащая другим контурам. Число независимых контуров в электрической схеме $n = p - (q - 1)$.

В электрической схеме, представленной на рис. 1.2, три узла ($q = 3$), пять ветвей ($p = 5$), шесть контуров и три независимых контура ($n = 3$). Между узлами 1 и 3 имеются две параллельные ветви с источниками ЭДС E_1 и E_2 , между узлами 2 и 3 также имеются две параллельные ветви с резисторами R_1 и R_2 .

Условные положительные направления ЭДС источников, токов в ветвях и напряжений между узлами или на зажимах элементов цепи необходимо задать для правильной записи уравнений, описывающих процессы в электрической цепи или ее элементах. На электрических схемах их указывают стрелками (см. рис. 1.2):

а) для ЭДС источников — произвольно, при этом полюс (зажим), к которому направлена стрелка, имеет более высокий потенциал по отношению к другому полюсу (зажиму);

б) для токов в ветвях, содержащих источники ЭДС — совпадающими с направлением ЭДС, во всех других ветвях — произвольно;

в) для напряжений — совпадающими с направлением тока в ветви или элементе цепи.

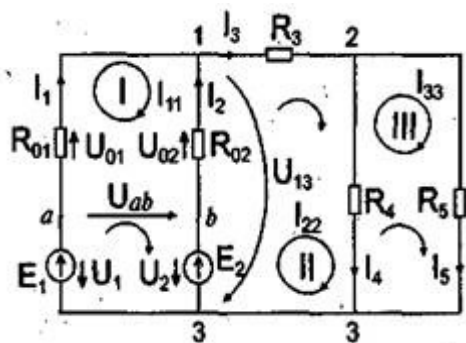


Рис. 1.2

Источник ЭДС на электрической схеме можно заменить источником напряжения, при этом условное положительное направление напряжения источника задается противоположным направлением ЭДС (см. рис. 1.2, напряжения U_1 и U_2)

Закон Ома для участка цепи:

$$I = U / R \text{ или } U = RI. \quad (1.1)$$

Для ветви 1 – 2 (см. рис. 1.2): $U_3 = R_3 I_3$ — называют напряжением или падением напряжения на резисторе R_3 , $I_3 = U_3 / R_3$ — ток в резисторе.

Первый закон Кирхгофа: сумма токов в узле равна нулю

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0 \quad (1.2)$$

где m — число ветвей, подключенных к узлу.

При записи уравнений по первому закону Кирхгофа токи, направленные к узлу, берут с одним знаком, как правило со знаком «плюс», а токи, направленные от узла, — с противоположным знаком. Например, для узла 1 (см. рис. 1.2) $I_1 + I_2 - I_3 = 0$.

Второй закон Кирхгофа. Формулировка 1: сумма ЭДС в любом контуре электрической цепи равна сумме падений напряжений на всех элементах этого контура

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m R_k I_k = \sum_{k=1}^m U_k \quad (1.3a)$$

где n — число источников ЭДС в контуре, m — число элементов с сопротивлением R_k в контуре, $U_k = R_k I_k$ — напряжение или падение напряжения на k -м элементе контура.

Формулировка 2: сумма напряжений на всех элементах контура, включая источники ЭДС, равна нулю, т. е.

$$\sum_{k=1}^m U_k = 0. \quad (1.3b)$$

Закон Джоуля-Ленца: количество теплоты, выделяемой в элементе электрической цепи, обладающем сопротивлением R , за время t равно:

$$Q = PI^2t = GU^2t = UI t = Pt, \quad (1.4)$$

где $G = 1 / R$ — электрическая проводимость, $P = UI$ — электрическая мощность.

Тема 1.3. Электрические цепи переменного тока

Переменным называется электрический ток, величина и направление которого изменяются во времени. Область применения переменного тока намного шире, чем постоянного. Это объясняется тем, что напряжение переменного тока можно легко понижать или повышать с помощью трансформатора, практически в любых пределах. Переменный ток легче транспортировать на большие расстояния. Но физические процессы, происходящие в цепях переменного тока, сложнее, чем в цепях постоянного тока из-за наличия переменных магнитных и электрических полей. Значение переменного тока в рассматриваемый момент времени называют мгновенным значением и обозначают строчной буквой i . Мгновенный ток называется периодическим, если значения его повторяются через одинаковые промежутки времени

$$i(t) = i(t + T)$$

Наименьший промежуток времени, через который значения переменного тока повторяются, называется периодом. Период T измеряется в секундах. Периодические токи, изменяющиеся по синусоидальному закону, называются синусоидальными. Мгновенное значение синусоидального тока определяется по формуле

$$i(t) = I_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_i\right) = I_m \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi_i) = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_i)$$

где I_m - максимальное, или амплитудное значение тока. Аргумент синусоидальной функции $\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_i$ называют фазой; величину φ , равную фазе в момент времени $t = 0$, называют начальной фазой. Фаза измеряется в радианах или градусах. Величину, обратную периоду, называют частотой. Частота f измеряется в герцах.

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Гц)}$$

Величину $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$ называют круговой, или угловой, частотой. Угловая частота измеряется в рад/с. Если у синусоидальных токов начальные фазы при одинаковых частотах одинаковы, говорят, что эти токи совпадают по фазе. Если неодинаковы по фазе, говорят, что токи сдвинуты по фазе. Сдвиг фаз двух синусоидальных токов измеряется разностью начальных фаз

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

Различают активные и пассивные элементы электрических цепей. К первым относятся источники, а ко вторым – элементы резистивного сопротивления, индуктивности и емкости. Индуктивности и емкости часто называют реактивными элементами.

Резистивное сопротивление

Элемент электрической цепи, который обладает свойством только рассеивать энергию, называется элементом резистивного сопротивления.

Напряжение, приложенное к элементу, и ток, проходящий через него, при согласном выборе положительных направлений напряжения и тока связаны между собой линейным соотношением $U = I \cdot R$, являющимся математической записью закона Ома. Данное соотношение может быть представлено также в виде:

$$I = \frac{U}{R} = G \cdot U$$

Коэффициенты R [Ом] и G [См], количественно характеризующие параметры элемента, называются соответственно сопротивлением и проводимостью элемента.

Мгновенная мощность электрических колебаний в резистивном сопротивлении:

$$R_{e_{max}} = 354 \frac{Q_{max} \cdot \rho}{A, \mu} = 354 \cdot \frac{20 \cdot 999,7}{50 \cdot 1,3077} = 108249,29, \text{ [Вт]},$$

ни при одном значении времени не может быть отрицательной, иначе элемент мог бы вводить или возвращать энергию во внешнюю по отношению к нему цепь. Положительно, естественно, и количество электрической энергии, рассеянное в элементе за любой конечный интервал времени

$$W_R = \int_{t_0}^t u i dt = \int_{t_0}^t R i^2 dt = \int_{t_0}^t G u^2 dt, \text{ [Дж]}.$$

Индуктивность

Элемент электрической цепи, который обладает свойством только запасать энергию в магнитном поле, называется элементом индуктивности. Между напряжением, приложенным к элементу и током, проходящим через элемент, при согласном выборе их положительных направлений существует линейное соотношение:

$$u = L \frac{di}{dt},$$

справедливое при условии существования производной функции по переменному (времени) t . Параметр L , [Гн] – называется индуктивностью. Условное графическое изображение элемента индуктивности приведено на рисунке



ке

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{300 \cdot 100}{300 + 100} = 150 \Omega$$

Мгновенная мощность в элементе может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

В первом случае ($P > 0$) в индуктивности накапливается энергия, а во втором ($P < 0$) – энергия запасенная ранее в элементе отдается во внешнюю по отношению к нему электрическую цепь.

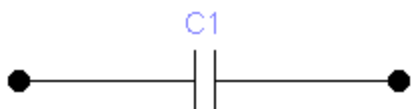
Энергия, запасенная в индуктивности к моменту t такова:

$$W_1 = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t L i \frac{di}{dt} dt = \frac{L i^2}{2}$$

Емкость

Элемент электрической цепи, который обладает свойством только запасать энергию в электрическое поле, называется элементом емкости.

Условное графическое изображение емкости приведено на рисун-



ке

Энергия, запасенная в емкости к моменту t , такова:

$$W_1 = \int_{t_0}^t UI dt = \int_{t_0}^t CU \frac{dU}{dt} dt = C \frac{U^2}{2}$$

В системе СИ во всех приведенных выше соотношениях сопротивление R , проводимость G , индуктивность L и емкость C измеряются соответственно в Омах (Ом), сименсах (См), генри (Гн) и фарадах (Ф), энергия – в джоулях (Дж), а мощность – в ваттах (Вт).

Независимые источники

Идеализация свойств реальных генераторов приводит к двум разновидностям активных элементов электрических цепей: источникам напряжений и источникам токов.

Источником напряжения считается такой источник, у которого напряжение на выходных зажимах не зависит от свойств цепи, являющейся внешней по отношению к нему. Напряжение между двумя зажимами любой электрической цепи, к которой подключен источник напряжения, называется задающим напряжением источника, или просто его напряжением.

Источники, параметры которых не зависят от свойств цепи, называются независимыми.

Примером источника электрической энергии, имеющего в первом приближении свойства источника напряжения, является аккумулятор большой емкости. Его внутренне сопротивление настолько мало, что при изменении тока в широких пределах напряжение на зажимах аккумулятора практически не изменяется.

Источником тока считается такой источник, через внешние зажимы которого проходит ток, независимый от свойств цепи, внешней по отношению к источнику. Этот ток называют задающим током источника.

Тема 1.4.Трехфазные электрические цепи

Трехфазная цепь является частным случаем многофазных электрических систем, представляющих собой совокупность электрических цепей, в которых действуют ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга на определенный угол. Отметим, что обычно эти ЭДС, в первую очередь в силовой энергетике, синусоидальны. Однако, в современных электромеханических системах, где для управления исполнительными двигателями используются преобразователи частоты, система напряжений в общем случае является несинусоидальной. Каждую из частей многофазной системы, характеризующуюся одинаковым током, называют фазой, т.е. фаза – это участок цепи, относящийся к соответствующей обмотке генератора или трансформатора, линии и нагрузке.

Трехфазный генератор (трансформатор) имеет три выходные обмотки, одинаковые по числу витков, но развивающие ЭДС, сдвинутые по фазе на 120°. Можно было бы использовать систему, в которой фазы обмотки генератора не были бы гальванически соединены друг с другом. Это так называемая несвязная система. В этом случае каждую фазу генератора необходимо соединять с приемником двумя проводами, т.е. будет иметь место шестипроводная линия, что неэкономично. В этой связи подобные системы не получили широкого применения на практике.

Для уменьшения количества проводов в линии фазы генератора гальванически связывают между собой. Различают два вида соединений: в звезду и в треугольник. В свою очередь при соединении в звезду система может быть трех- и четырехпроводной.

Соединение в звезду

На рис. 6 приведена трехфазная система при соединении фаз генератора и нагрузки в звезду. Здесь провода AA' , BB' и CC' – линейные провода.

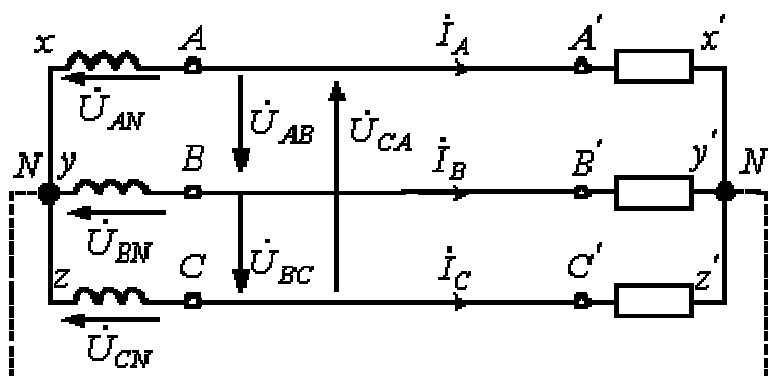


Рис.6

Линейным называется провод, соединяющий начала фаз обмотки генератора и приемника. Точка, в которой концы фаз соединяются в общий узел, называется нейтральной (на рис. 6 N и N' – соответственно нейтральные точки генератора и нагрузки).

Провод, соединяющий нейтральные точки генератора и приемника, называется нейтральным (на рис. 6 показан пунктиром). Трехфазная система при

соединении в звезду без нейтрального провода называется трехпроводной, с нейтральным проводом – четырехпроводной.

Все величины, относящиеся к фазам, носят название фазных переменных, к линии -линейных. Как видно из схемы на рис. 6, при соединении в звезду линейные токи \dot{I}_A, \dot{I}_B и \dot{I}_C равны соответствующим фазным токам. При наличии нейтрального провода ток в нейтральном проводе $\dot{I}_{N'N} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$.

Если система фазных токов симметрична, то $\dot{I}_{N'N} = 0$. Следовательно, если бы симметрия токов была гарантирована, то нейтральный провод был бы не нужен. Как будет показано далее, нейтральный провод обеспечивает поддержание симметрии напряжений на нагрузке при несимметрии самой нагрузки.

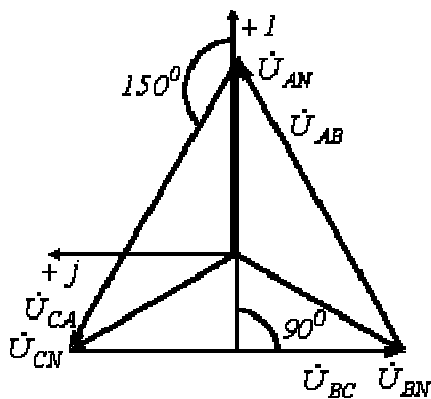
Поскольку напряжение на источнике противоположно направлению его ЭДС, фазные напряжения генератора (см. рис. 6) действуют от точек А,В и С к нейтральной точке N; $\dot{U}_{A'N'}, \dot{U}_{B'N'}, \dot{U}_{C'N'}$ - фазные напряжения нагрузки.

Линейные напряжения действуют между линейными проводами. В соответствии со вторым законом Кирхгофа для линейных напряжений можно записать

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN}; \quad (1)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN}; \quad (2)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN}. \quad (3)$$



Отметим, что всегда $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$ - как сумма напряжений по замкнутому контуру.

На рис. 7 представлена векторная диаграмма для симметричной системы напряжений. Как показывает ее анализ (лучи фазных напряжений образуют стороны равнобедренных треугольников с углами при основании, равными 30°), в этом случае

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi \quad (4)$$

Обычно при расчетах принимается $\dot{U}_{AN} = U_{\phi} e^{j0} = U_{\phi}$. Тогда для случая прямого чередования

фаз $\dot{U}_{BN} = U_{\phi} e^{-j120^{\circ}}$, $\dot{U}_{CN} = U_{\phi} e^{-j240^{\circ}} = U_{\phi} e^{j120^{\circ}}$ (при обратном чередовании

фаз фазовые сдвиги у \dot{U}_{BN} и \dot{U}_{CN} меняются местами). С учетом этого на основании соотношений (1) ... (3) могут быть определены комплексы линейных напряжений. Однако при симметрии напряжений эти величины легко определяются непосредственно из векторной диаграммы на рис. 7. Направляя вещественную ось системы координат по вектору \dot{U}_{AN} (его начальная фаза равна нулю), отсчитываем фазовые сдвиги линейных напряжений по отношению к этой оси, а их модули определяем в соответствии с (4). Так для линейных напряжений \dot{U}_{BC} и \dot{U}_{CA} получаем:

$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}U_{\phi} e^{-j90^{\circ}}$; $\dot{U}_{CA} = \sqrt{3}U_{\phi} e^{j150^{\circ}}$.

Соединение в треугольник

В связи с тем, что значительная часть приемников, включаемых в трехфазные цепи, бывает несимметричной, очень важно на практике, например, в схемах с осветительными приборами, обеспечивать независимость режимов работы отдельных фаз. Кроме четырехпроводной, подобными свойствами обладают и трехпроводные цепи при соединении фаз приемника в треугольник. Но в треугольник также можно соединить и фазы генератора (см. рис. 8).

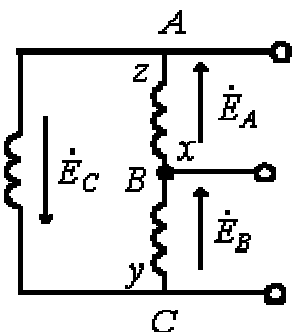


Рис.8

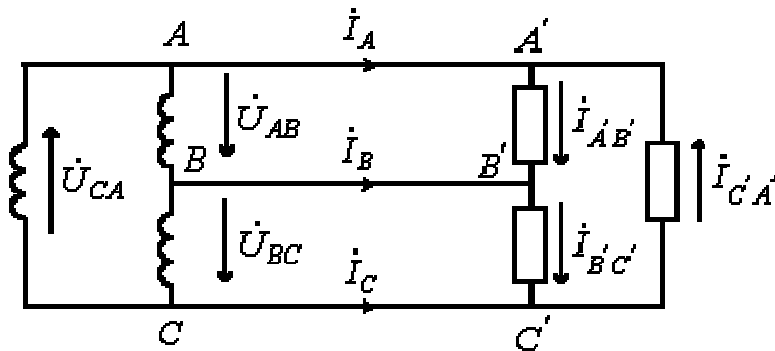


Рис.9

Для симметричной системы ЭДС имеем

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$

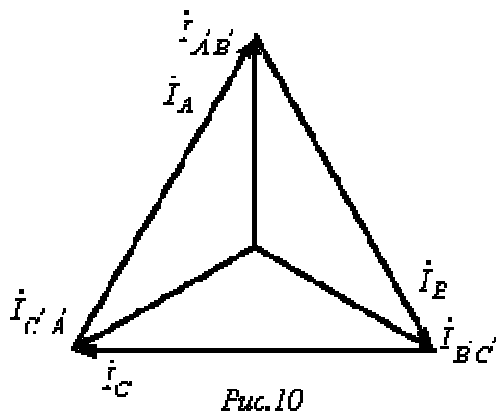
Таким образом, при отсутствии нагрузки в фазах генератора в схеме на рис. 8 токи будут равны нулю. Однако, если поменять местами начало и конец любой из фаз, то $\sum \dot{E} \neq 0$ и в треугольнике будет протекать ток короткого замыкания. Следовательно, для треугольника нужно строго соблюдать порядок соединения фаз: начало одной фазы соединяется с концом другой.

Схема соединения фаз генератора и приемника в треугольник представле-

на на рис. 9.

Очевидно, что при соединении в треугольник линейные напряжения равны соответствующим фазным. По первому закону Кирхгофа связь между линейными и фазными токами приемника определяется соотношениями

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB'} - \dot{I}_{C'A'}; \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC'} - \dot{I}_{AB'}; \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA'} - \dot{I}_{BC'}. \end{aligned}$$



Аналогично можно выразить линейные токи через фазные токи генератора.

На рис. 10 представлена векторная диаграмма симметричной системы линейных и фазных токов. Ее анализ показывает, что при симметрии токов

$$I_n = \sqrt{3}I_\phi. \quad (5)$$

Раздел 2. Электрические машины

Тема 2.1. Трансформаторы

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока. В общем случае вторичная система переменного тока может отличаться любыми параметрами: величиной напряжения и тока, числом фаз, формой кривой напряжения (тока), частотой. Наибольшее применение в электротехнических установках, а также в энергетических системах передачи и распределения электроэнергии имеют силовые трансформаторы, посредством которых изменяют величину переменного напряжения и тока. При этом число фаз, форма кривой напряжения (тока) и частота остаются неизменными. Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника, выполненного из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода (рис.1). Одна из обмоток присоединена к источнику переменного тока Γ на напряжение U), эту обмотку называют первичной. К другой обмотке подключен потребитель ZH , ее называют вторичной. Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток I_1 , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них ЭДС:

$$\begin{aligned} e_1 &= -w_1(d\Phi / dt); \\ e_2 &= -w_2(d\Phi / dt), \end{aligned} \quad (1-2)$$

где ω_1 и ω_2 —число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

При подключении нагрузки ZH к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС e_1 в цепи этой обмотки создается ток I_2 , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$, а в понижающих $U_2 < U_1$.

Из (1) и (2) следует, что ЭДС e_1 и e_2 отличаются друг от друга числом витков обмоток, в которых они наводятся. Поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор на любое отношение напряжений.

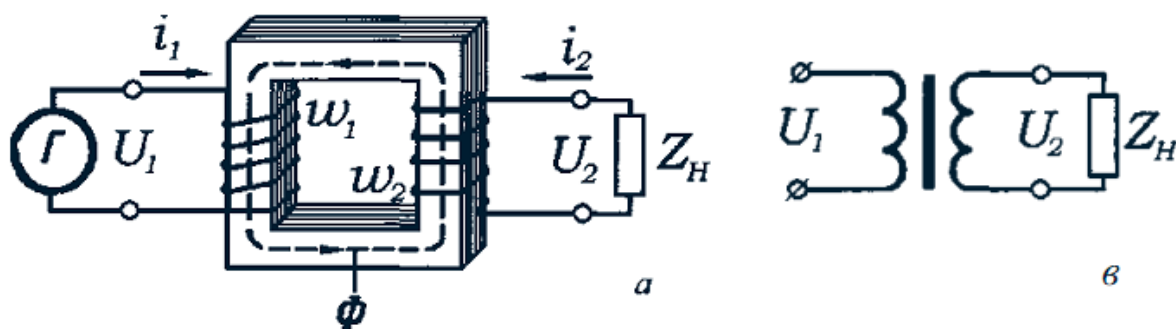


Рис.1. Конструктивная (а) и принципиальная (б) схемы однофазного двухобмоточного трансформатора

Обмотку трансформатора, подключенную к сети с более высоким напряжением, называют обмоткой высшего напряжения (ВН); обмотку, присоединенную к сети меньшего напряжения, — обмоткой низшего напряжения (НН). Трансформаторы обладают свойством обратимости: один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего. Но обычно трансформатор имеет определенное назначение: либо он является повышающим, либо понижающим. Трансформатор — это аппарат переменного тока. Если же его первичную обмотку подключить к источнику постоянного тока, то магнитный поток в магнитопровод трансформатора также будет постоянным как по величине, так и по направлению. Поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС.

Конструкция трансформаторов в значительной степени зависит от их назначения, по этому признаку трансформаторы разделяют на следующие основные виды:

- 1) силовые, применяемые:
 - а) в системах передачи и распределения электроэнергии;
 - б) для установок со статическими преобразователями (ионными или полупроводниковыми) при преобразовании переменного тока в постоянный (выпрямители) или постоянного в переменный (инверторы);
 - в) для получения требуемых напряжений в цепях управления электроприводами и в цепях местного освещения;
- 2) силовые специального назначения — печные, сварочные т. п.;
- 3) измерительные — для включения электрических измерительных приборов в сети высокого напряжения или сильного тока;
- 4) испытательные — для получения высоких и сверхвысоких напряжений, необходимых при испытаниях на электрическую прочность электроизоляционных изделий;
- 5) радиотрансформаторы — применяемые в устройствах радио- и проводной связи, в системах автоматики и телемеханики для получения требуемых напряжений, согласования сопротивлений электрических цепей, гальванического разделения цепей и др.

Трансформаторы одного и того же назначения могут различаться:
 по виду охлаждения—с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением;
 по числу трансформируемых фаз—однофазные и многофазные;
 по форме магнитопровода — стержневые, броневые, бронестержневые, тороидальные;
 по числу обмоток — двухобмоточные и многообмоточные (одна первичная и две или более вторичных обмоток);
 по конструкции обмоток — с concentрическими и чередующимися обмотками.

3. Устройство трансформаторов

Основные части трансформатора — это магнитопровод и обмотки.

Магнитопровод трансформатора выполняют из листовой электротехнической стали. Перед сборкой листы с двух сторон изолируют лаком. Такая конструкция магнитопровода дает возможность в значительной степени ослабить в нем вихревые токи. Часть магнитопровода, на которой располагают обмотки, называют стержнем.

В стержневых трансформаторах имеются два стержня и соединяющих их два ярма (рис.2, а). Броневые трансформаторы имеют разветвленный магнитопровод с одним стержнем и ярмами, частично прикрывающими ("бронирующими") обмотки (рис.2, б).

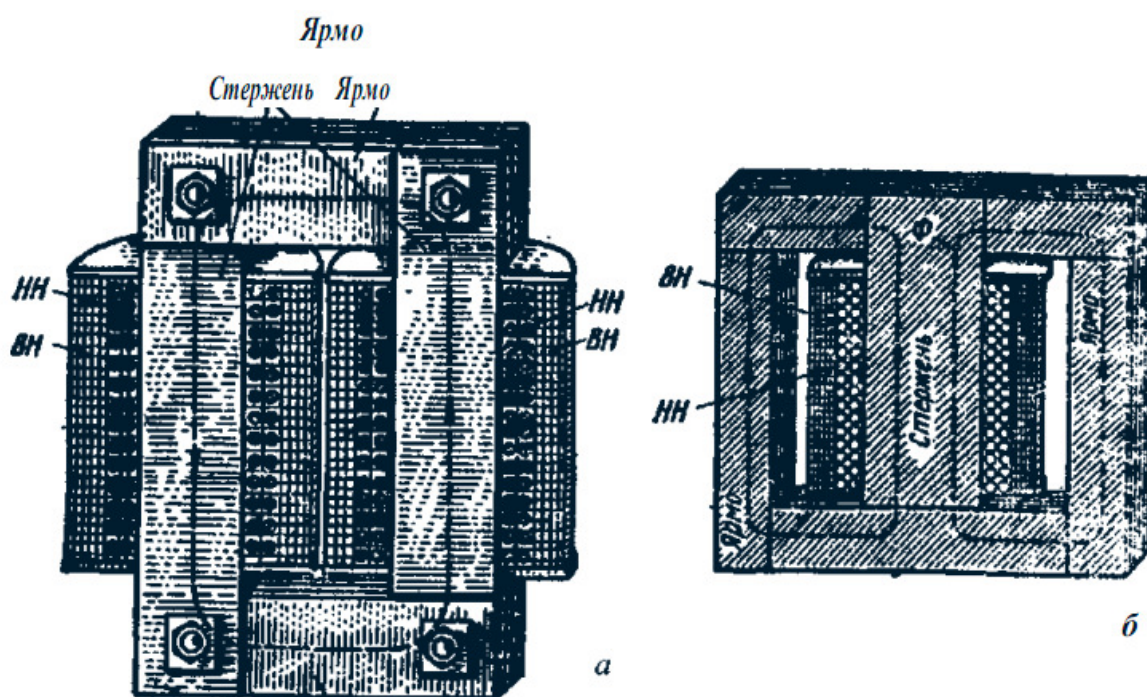


Рис.2. Однофазные трансформаторы стержневого (а) и броневого (б) типов

Стержневая конструкция имеет наибольшее распространение, особенно в трансформаторах большой и средней мощности. Достоинства этой конструкции — простота изоляции обмоток, лучшие условия охлаждения, простота ремонта.

Однофазные трансформаторы малой мощности чаще имеют броневую

конструкцию, что позволяет уменьшить габариты трансформатора. Кроме того, боковые ярма защищают обмотку от механических повреждений; это важно для трансформаторов малой мощности, которые часто не имеют защитного кожуха и располагаются вместе с другим электрооборудованием на общей панели или в общем шкафу.

Трехфазные трансформаторы обычно выполняют на магнитопроводе стержневого типа с тремя стержнями (рис.3).

В трансформаторах большой мощности применяют бронестержневую конструкцию магнитопровода (рис.4), которая хотя и требует несколько повышенного расхода электротехнической стали, но позволяет, уменьшить высоту магнитопровода ($H_{\text{БС}} < H_{\text{С}}$), а следовательно, и высоту трансформатора.

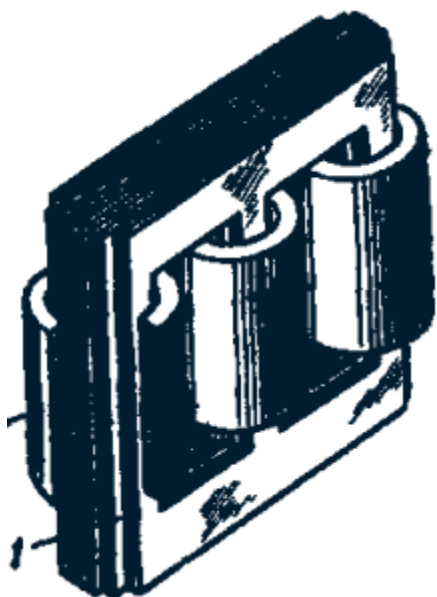


Рис.3. Трехфазный трансформатор стержневого типа: 1 - магнитопровод; 2 - обмотки

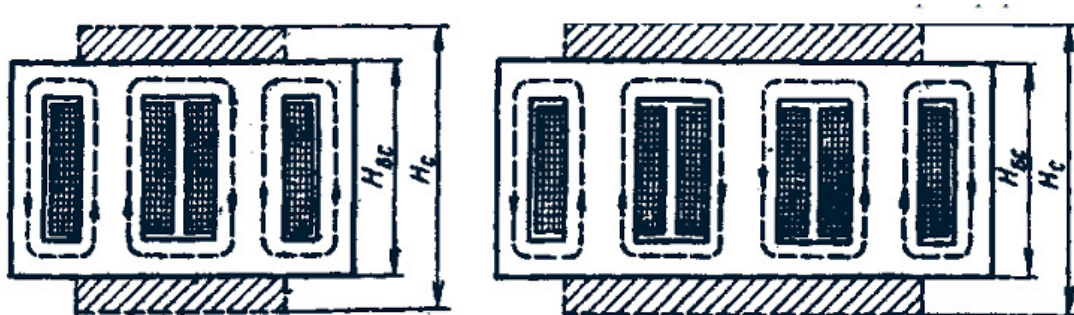
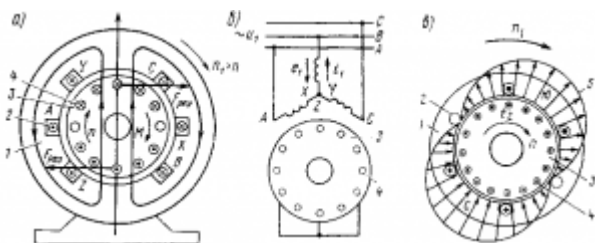


Рис.4. Магнитопроводы бронестержневого трансформатора: однофазного (а); трехфазного (б)

Тема 2.2. Электрические машины переменного тока

Принцип действия асинхронного двигателя. Трехфазные асинхронные двигатели являются самыми распространенными электрическими двигателями и применяются для привода различных станков, насосов, вентиляторов, компрессоров, грузоподъемных механизмов, а также на э. п. с. переменного тока в качестве двигателей вспомогательных машин.

Асинхронный двигатель состоит из неподвижной части статора 1 (рис. 248, а), на котором расположены обмотка 2 статора, и вращающейся части — ротора 3 с обмоткой 4. Между ротором и статором имеется воздушный зазор, который для улучшения магнитной связи между обмотками делают по возможности малым. Обмотка 2 статора представляет собой трехфазную или в общем случае многофазную обмотку, катушки которой размещают равномерно вдоль окружности статора. Фазы этой обмотки А-Х, В-У и С-З размещены равномерно по окружности статора; они соединяются «звездой» или «треугольником» и подключаются к сети трехфазного тока. Обмотку 4 размещают равно-



Электромагнитная схема асинхронного двигателя (а), схема включения его обмоток (б) и пространственное распределение вращающегося магнитного поля (в) в двухполюсной машине равномерно вдоль окружности ротора. При работе двигателя она замкнута накоротко.

При подключении обмотки статора к сети создается синусоидально распределенное вращающееся магнитное поле 5 (рис. 248, в). Оно индуцирует в обмотках статора и ротора э. д. с. e_1 и e_2 . Под действием э. д. с. e_2 по проводникам ротора будет проходить электрический ток i_2 . На рис. 248, а показано согласно правилу правой руки направление э. д. с. e_2 , индуцированной в проводниках ротора при вращении магнитного потока Φ , по часовой стрелке (при этом проводники ротора перемещаются относительно потока Φ против часовой стрелки). Если ротор неподвижен или частота его вращения n меньше синхронной частоты n_1 , активная составляющая тока ротора совпадает по фазе с индуцированной э. д. с. e_2 , при этом условные обозначения (крестики и точки) показывают одновременно и направление активной составляющей тока i_2 .

На проводники с током, расположенные в магнитном поле, действуют электромагнитные силы, направление которых определяется правилом левой руки. Суммарная сила $F_{рез}$, приложенная ко всем проводникам ротора, образует электромагнитный момент M , увлекающий ротор за вращающимся магнитным полем. Если этот момент достаточно велик, то ротор приходит во вращение и его установившаяся частота вращения соответствует равенству электромагнит-

ного момента M тормозному, приложенному к валу от приводимого во вращение механизма и внутренних сил трения.

Э.д.с, индуцированная в проводниках обмотки ротора, зависит от частоты их пересечения вращающимся полем, т. е. от разности частот вращения магнитного поля n_1 и ротора n . Чем больше разность $n_1 - n$, тем больше э. д. с. e_2 . Следовательно, необходимым условием для возникновения в асинхронной машине электромагнитного вращающего момента является неравенство частот вращения n_1 и n . Только при этом условии в обмотке ротора индуцируется э. д. с. и возникает ток i и электромагнитный момент M . По этой причине машина называется асинхронной (ротор ее вращается несинхронно с полем). Иногда ее называют индукционной ввиду того, что ток в роторе возникает индуктивным путем, а не подается от какого-либо внешнего источника.

Для характеристики отставания частоты вращения ротора двигателя от частоты вращения магнитного поля служит скольжение, его выражают в относительных единицах или процентах:

$$s = (n_1 - n) / n_1 \text{ или } s = [(n_1 - n) / n_1] 100\% \quad (81)$$

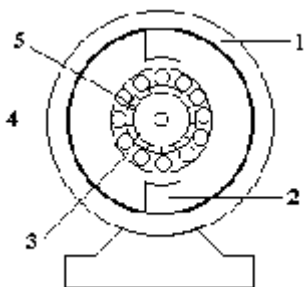
Если, например, четырехполюсный двигатель имеет $s = 4\%$, то частота вращения его ротора равна 1440 об/мин (частота вращения поля при частоте 50 Гц составляет 1500 об/мин, а отставание ротора от частоты поля равно 4 % от 1500 об/мин, т. е. 60 об/мин). В двухполюсном двигателе при $s = 4\%$ частота вращения ротора составляет 2880 об/мин ($3000 - 0,04 * 3000 = 2880$).

Частота вращения ротора, выраженная через скольжение,

$$n = n_1(1 - s) \quad (82)$$

Тема 2.3. Электрические машины постоянного тока

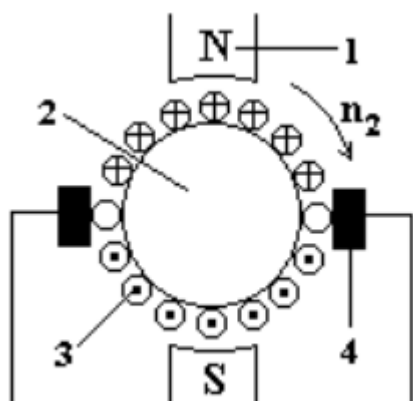
Электрическая машина постоянного тока состоит из двух основных частей: неподвижной части (индуктора) и вращающейся части (якоря с барабанной обмоткой). На рисунке изображена конструктивная схема машины постоянного тока



Индуктор состоит из станины 1 цилиндрической формы, изготовленной из ферромагнитного материала, и полюсов с обмоткой возбуждения 2, закрепленных на станине. Обмотка возбуждения создает основной магнитный поток. Магнитный поток может создаваться постоянными магнитами, укрепленными на станине. Якорь состоит из следующих элементов: сердечника 3, обмотки 4, уложенной в пазы сердечника, коллектора 5. Сердечник якоря для уменьшения потерь на вихревые точки набирается из изолированных друг от друга листов электротехнической стали.

Принцип действия машины постоянного тока

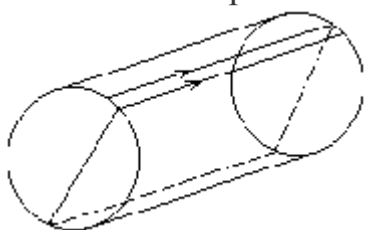
Рассмотрим работу машины постоянного тока на модели рис. 11.2,



где 1 - полюсы индуктора, 2 - якорь, 3 - проводники, 4 - контактные щетки. Проводники якорной обмотки расположены на поверхности якоря. Очистим внешние поверхности проводников от изоляции и наложим на проводники неподвижные контактные щетки. Контактные щетки размещены на линии геометрической нейтрали, проведенной посередине между полюсами.

Приведем якорь машины во вращение в направлении, указанном стрелкой. Рис. 11.2 Определим направление ЭДС, индуктированных в проводниках якорной обмотки по правилу правой руки.

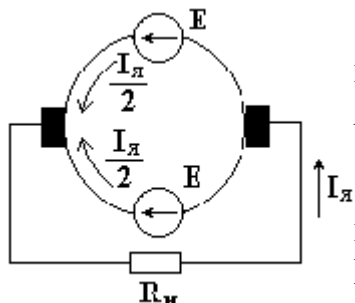
На рис.11.2 крестиком обозначены ЭДС, направленные от нас, точками - ЭДС, направленные к нам. Соединим проводники между собой так, чтобы ЭДС в них складывались. Для этого соединяют последовательно конец проводника, расположенного в зоне одного полюса с концом проводника, расположенного в зоне полюса противоположной полярности (рис. 11.3)



Два проводника, соединенные последовательно, образуют один виток или одну катушку. ЭДС проводников, расположенных в зоне одного полюса, различны по величине. Наибольшая ЭДС индуктируется в проводнике, расположенном под серединой полюса, ЭДС, равная нулю, - в проводнике, расположенном на линии геометрической нейтрали.

Если соединить все проводники обмотки по определенному правилу последовательно, то результирующая ЭДС якорной обмотки равна нулю, ток в обмотке отсутствует. Контактные щетки делят якорную обмотку на две параллельные ветви.

В верхней параллельной ветви индуктируется ЭДС одного направления, в нижней параллельной ветви - противоположного направления. ЭДС, снимаемая контактными щетками, равна сумме электродвижущих сил проводников, расположенных между щетками. На рисунке представлена схема замещения якорной обмотки.



В параллельных ветвях действуют одинаковые ЭДС, направленные встречно друг другу. При подключении к якорной обмотке сопротивления в параллельных ветвях

возникают одинаковые токи $\frac{I_a}{2}$, через сопротивление R_n протекает ток I_a . ЭДС якорной обмотки пропорциональна частоте вращения якоря n_2 и магнитному потоку индуктора Φ

$$E = C_e \cdot n_2 \cdot \Phi, \quad (11.1)$$

где C_e - константа. В реальных электрических машинах постоянного тока используется специальное контактное устройство - коллектор. Коллектор

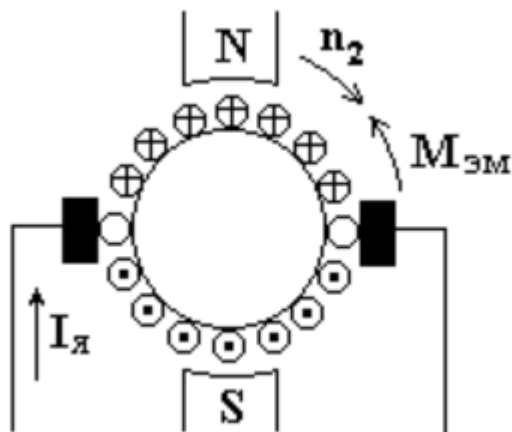
устанавливается на одном валу с сердечником якоря и состоит из отдельных изолированных друг от друга и от вала якоря медных пластин. Каждая из пластин соединена с одним или несколькими проводниками якорной обмотки. На коллектор накладываются неподвижные контактные щетки. С помощью контактных щеток вращающаяся якорная обмотка соединяется с сетью постоянного тока или с нагрузкой.

Работа электрической машины постоянного тока в режиме генератора

Любая электрическая машина обладает свойством обратимости, т.е. может работать в режиме генератора или двигателя. Если к зажимам приведенного во вращение якоря генератора присоединить сопротивление нагрузки, то под действием ЭДС якорной обмотки в цепи возникает ток

$$E = U + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

На рис. схематично изображен генератор постоянного тока, показаны направления токов в проводниках якорной обмотки.



Воспользовавшись правилом левой руки, видим, что электромагнитные силы создают электромагнитный момент $M_{\text{эм}}$, препятствующий вращению якоря генератора. Чтобы машина работала в качестве генератора, необходимо первичным двигателем вращать ее якорь, преодолевая тормозной электромагнитный момент.

Генераторы с независимым возбуждением. Характеристики генераторов

Магнитное поле генератора с независимым возбуждением создается током, подаваемым от постороннего источника энергии в обмотку возбуждения полюсов. Схема генератора с независимым возбуждением показана на рис. 11.6. Магнитное поле генераторов с независимым возбуждением может создаваться от постоянных магнитов (рис. 11.7).

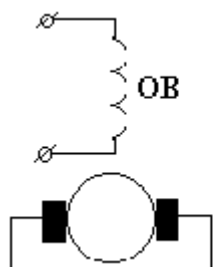


Рис. 11.6

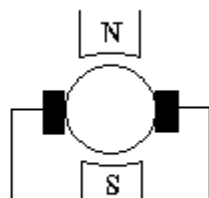


Рис. 11.7

Зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения называется характеристикой холостого хода $E = U_{\text{хх}} = f(I_{\text{в}})$. Характеристику холостого хода полу-

чают при разомкнутой внешней цепи (I_a) и при постоянной частоте вращения ($n_2 = \text{const}$) Характеристика холостого хода генератора показана на рис. 11.8. Из-за остаточного магнитного потока ЭДС генератора не равна нулю при токе возбуждения, равном нулю. При увеличении тока возбуждения ЭДС генератора сначала возрастает пропорционально. Соответствующая часть характеристики холостого хода будет прямолинейна. Но при дальнейшем увеличении тока возбуждения происходит магнитное насыщение машины, отчего кривая будет иметь изгиб. При последующем возрастании тока возбуждения ЭДС генератора почти не меняется. Если уменьшать ток возбуждения, кривая намагничивания не совпадает с кривой намагничивания из-за явления гистерезиса. Зависимость напряжения на внешних зажимах машины от величины тока нагрузки $U = f(I)$ при токе возбуждения $I_b = \text{const}$ называют внешней характеристикой генератора.

$$U = E - I_a \cdot R_a.$$

Внешняя характеристика генератора изображена на рис. 11.9.

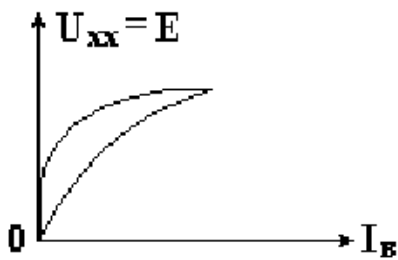


Рис. 11.8

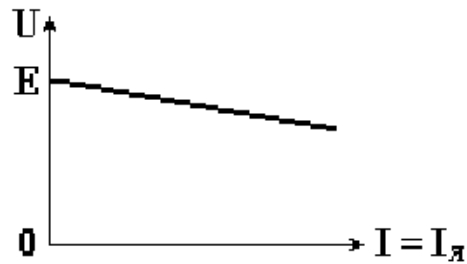


Рис. 11.9

Раздел 3. Электропривод

Тема 3.1. Основы электропривода

Электрический привод представляет собой электромеханическое устройство, предназначенное для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом. Он состоит из трех частей: электрического двигателя, осуществляющего электромеханическое преобразование энергии, механической части, передающей механическую энергию рабочему органу машины, и системы управления, обеспечивающей оптимальное по тем или иным критериям управление технологическим процессом. Характеристики двигателя и возможности системы управления определяют производительность механизма, точность выполнения технологических операций, динамические нагрузки механического оборудования и ряд других факторов. С другой стороны, нагрузка механической части привода, условия движения ее связанных масс, точность передач и т. п. оказывают влияние на условия работы двигателя и системы управления, поэтому электрические и механические элементы электропривода образуют единую электромеханическую систему, составные части которой находятся в тесном взаимодействии.

Свойства электромеханической системы оказывают решающее влияние на важнейшие показатели рабочей машины и в значительной мере определяют качество и экономическую эффективность технологических процессов. Развитие автоматизированного электропривода (рисунок 1.1) ведет к совершенствованию конструкций машин, к коренным изменениям технологических процессов, к дальнейшему прогрессу во всех отраслях народного хозяйства.

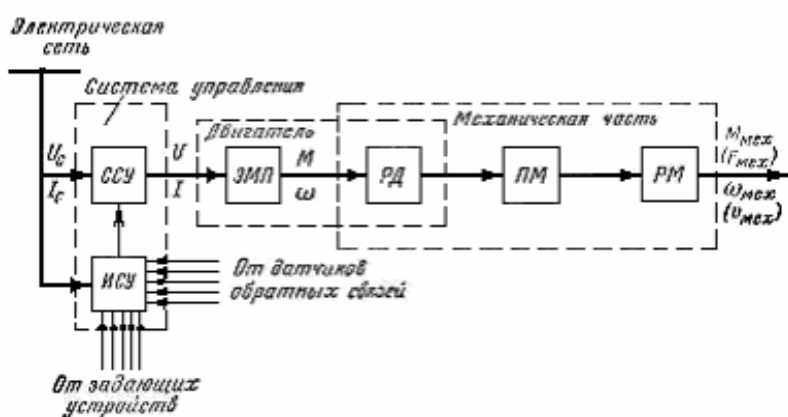


Рисунок 1.1 – Схема автоматизированного электропривода

Классификация электроприводов

Электроприводы по способам распределения механической энергии можно разделить на три основных типа: групповой электропривод; индивидуальный и взаимосвязанный.

Групповой электропривод обеспечивает движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной

рабочей машины. Передача механической энергии от одного двигателя к нескольким рабочим машинам и ее распределение между ними производится с помощью одной или нескольких трансмиссий. Такой групповой привод называют также трансмиссионным (рисунок 2.1).

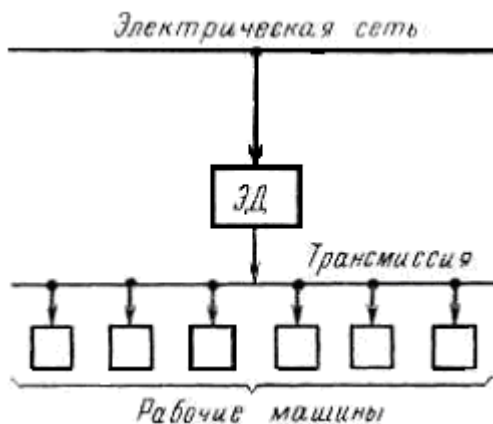


Рисунок 2.1 – Структурная схема группового трансмиссионного электропривода

Вследствие своего технического несовершенства трансмиссионный электропривод в настоящее время почти не применяется, он уступил место индивидуальному и взаимосвязанному, хотя в ряде случаев еще находит применение и групповой привод по схеме на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Структурная схема группового электропривода

Индивидуальный привод по сравнению с трансмиссионным и групповым обладает рядом преимуществ: производственные помещения не загромождаются тяжелыми трансмиссиями и передаточными устройствами; улучшаются условия работы и повышается производительность труда вследствие облегчения управления отдельными механизмами, уменьшения запыленности помещений, лучшего освещения рабочих мест; снижается травматизм обслуживающего персонала. Кроме того, индивидуальный электропривод отличается более высокими энергетическими показателями.

В трансмиссионном приводе при выходе из строя или при ремонте элек-

тродвигателя выбывает из работы группа машин, тогда как в случае индивидуального привода или группового по схеме на рисунке 2.2 остановка одного электродвигателя вызывает остановку лишь одной рабочей машины.

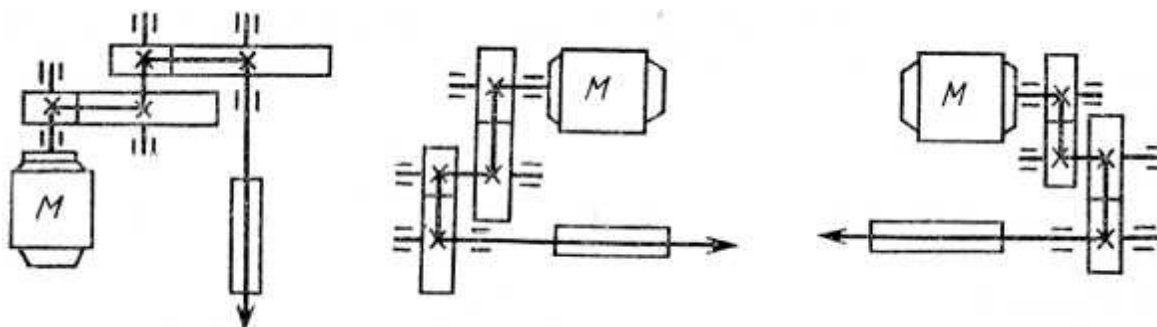


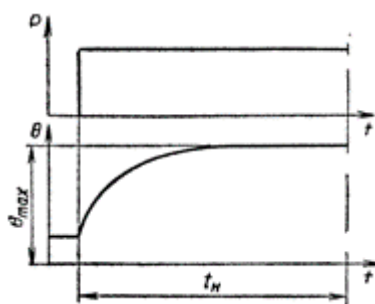
Рисунок 2.3 – Индивидуальные электроприводы рабочих органов (шпинделей) продольно-фрезерного станка

Индивидуальный электропривод широко применяется в различных современных машинах, например в сложных металлорежущих станках, в прокатных станах металлургического производства, в подъемно-транспортных машинах, экскаваторах, в роботах-манипуляторах и т. п.

Примером использования индивидуального привода может служить продольно-фрезерный станок (рисунок 2.3), имеющий отдельные электроприводы главных движений (приводы трех шпиндельных бабок).

Режимы работы электроприводов отличаются огромным многообразием по характеру и длительности циклов, значениям нагрузок, условиям охлаждения, соотношения потерь в период пуска и установившегося движения и т.п.

Продолжительный режим работы S1 - работа машины при неизменной нагрузке достаточно длительное время для достижения неизменной температуры всех ее частей.

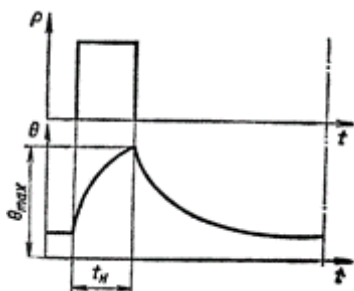


Продолжительный режим работы электродвигателя S1

Кратковременный режим работы S2 — работа машины при неизменной нагрузке в течение времени, недостаточного для достижения всеми частями машины установившейся температуры, после чего следует остановка машины на время, достаточное для охлаждения машины до температуры, не более чем на 2°С превышающей температуру окружающей среды.

Для кратковременного режима работы нормируется продолжительность

рабочего периода 15, 30, 60, 90 мин.

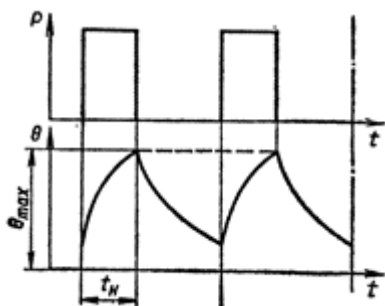


Кратковременный режим работы электродвигателя S2

Повторно-кратковременный режим работы S3 - последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время работы при неизменной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды.

В этом режиме цикл работы таков, что пусковой ток не оказывает заметного влияния на превышение температуры. Продолжительность цикла недостаточна для достижения теплового равновесия и не превышает 10 мин. Режим характеризуется величиной продолжительности включения в процентах:

$$ПВ = (t_p / (t_p + t_n)) \times 100\%$$



Повторно-кратковременный режим работы электродвигателя S3

Нормируемые значения продолжительности включения: 15, 25, 40, 60 %, или относительные значения продолжительности рабочего периода: 0,15; 0,25; 0,40; 0,60.

Тема 3.2. Аппаратура управления и защиты

Аппаратура управления и защиты электродвигателей – составная часть электропривода – предназначена для пуска и остановки двигателя, изменения частоты и направления вращения вала двигателя, а также для обеспечения работы электродвигателя в заданных режимах в соответствии с требованиями технологического процесса и для защиты его от ненормальных режимов работы. Аппаратуру управления классифицируют по назначению, способу управле-

ния (ручное, автоматическое, дистанционное), роду тока (постоянный или переменный), конструкции, исполнению (открытое, защищенное пылебрызгонепроницаемое, тропическое и т.п.). Аппаратура ручного управления приводится в действие обслуживающим персоналом. К этой аппаратуре относятся выключатели и переключатели, рубильники, пусковые резисторы, кнопочные станции, магнитные пускатели, автоматические выключатели. Ручное управление электроприводами применяется только в установках небольшой мощности с редкими включениями и не требующих дистанционного управления. Для автоматического управления электроприводом наибольшее распространение получила релейно-контакторная аппаратура, в которой используются контакторы, магнитные пускатели с кнопочными станциями, конечные и путевые выключатели, различные реле и т.п. Получают распространение бесконтактные способы управления электроприводами, основанные на применении тиристоров и симисторов.

Главные функции аппаратуры управления и защиты являются:

- включение и отключение электроприемников и электрических цепей;
- электрическая защита их от перегрузки, коротких замыканий, понижения напряжения или самопуска;
- регулирование числа оборотов электродвигателей;
- реверсирование электродвигателей;
- электрическое торможение их.

Аппарат может быть предназначен для выполнения как одной так и нескольких из указанных функций, что определяет его конструкцию и схему соединений (5). Срабатывание аппарата может происходить в результате воздействия оператора или же независимо от оператора, под влиянием физических процессов в электрической цепи. Первые аппараты называют ручными, вторые - автоматическими. Аппараты, у которых одна часть операций происходит автоматически, а другая - в результате вмешательства оператора, называют полуавтоматическими.

Аппараты, служащие только для пуска и остановки двигателей, именуется пусковыми, а предназначенные также и для регулирования скорости, - пускорегулирующими.

По назначению различают пусковые аппараты, осуществляющие:

- включение цепи под напряжение;
- включение цепи под нагрузкой;
- разрыв цепи под нагрузкой;
- разрыв цепи под напряжением, но не под нагрузкой (разъединяющий аппарат).

По режиму работы различают аппараты, предназначенные для работы:

- продолжительной;
- кратковременной;
- повторно-кратковременной.

По исполнению аппараты делятся на:

- открытые, не имеющие специальных приспособлений ни для предохранения от случайного прикосновения к токоведущим частям, ни для предотвраще-

ния попадания внутрь посторонних тел;

-защищенные, имеющие приспособления для предохранения от случайного прикосновения к токоведущим частям, а также для предотвращения попадания внутрь посторонних предметов;

закрытые, у которых внутренняя полость отделены от внешней среды оболочкой, защищающей их внутренние части от проникновения пыли;

пыленепроницаемые, имеющие оболочку, уплотняющую таким образом, чтобы оно не допускала проникновения внутрь аппарата тонкой пыли;

маслонаполненные, у которых все нормально искрящие части погружены в масло таким образом, что исключается возможность соприкосновения между этими частями и окружающим воздухом, а неискрящие части заключены в закрытую или непроницаемую оболочку;

взрывозащищенные, имеющие одно из исполнений, допущенных к применению во взрывоопасных помещениях всех или некоторых классов.

Для ручного управления используются: рубильники и переключатели – для включения и отключения цепей постоянного и переменного тока до 1500 А в одно-, двух- и трехполюсном исполнении; предохранители – для защиты сетей от перегрузок и коротких замыканий; пакетные выключатели и переключатели – для включения и отключения цепей постоянного и переменного тока от 10 до 100 А при напряжении 220 В и от 6 до 60 А при 380 В; универсальные переключатели – для пуска электродвигателей небольшой мощности и переключения электрических цепей, катушек контакторов, реле; контроллеры – для переключения цепей постоянного и переменного тока, создания схем торможения, реверсирования.

При автоматизированном управлении применяется более сложная аппаратура.

Кнопки управления – для замыкания и размыкания цепей дистанционного управления аппаратами. Их разновидности – путевые и концевые выключатели, на которые воздействуют не люди, а сами механизмы во время передвижения.

Автоматические выключатели (автоматы) – для включения и отключения электрических цепей и электрооборудования, для автоматического отключения их при перегрузках и коротких замыканиях. Широко применяются автоматы АК-50 (на силу тока до 63 А) и А-3100, рассчитанные на ток от 15 до 600 А. А-3100 автоматически отключается с помощью расцепителя – специального устройства с тепловым (для защиты токов от перегрузки) или электромагнитным (от короткого замыкания) элементом. Они также могут быть комбинированными. Выпускаются также автоматы единой универсальной серии А-3700, которые по конструкции аналогичны А-3100, но имеют более высокую отключающую способность и снабжены механизмом дистанционного включения. В настоящее время все более широко применяются автоматы серии Э. Контактная система каждого полюса автомата состоит из трех параллельно включаемых пар контактов: главных, предварительных и разрывных (рис. 3). При включении вначале замыкаются разрывные, затем предварительные и, наконец, главные контакты. Размыкание происходит в обратной последовательности.

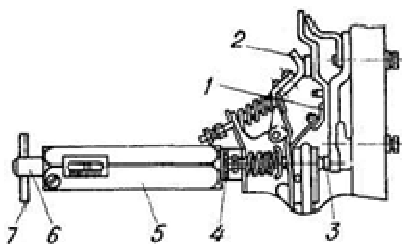


Рис. 3. Контактная система автоматического выключателя (во включенном положении): 1 - предварительные контакты; 2 - разрывные контакты; 3 - главный контакт; 4 - фасонный винт; 5 - стакан; 6 - штифт динамометра; 7 - ручка

Контактор приводится в действие электромагнитом, включение и отключение которого выполняются на расстоянии от кнопки управления, релейной аппаратуры и др. На рис. 4 показан трехполюсный электромагнитный контактор переменного тока, у которого включение втягивающей катушки приводит к притягиванию якоря с короткозамкнутым витком к неподвижному ферромагнитному сердечнику. В результате валик, поворачиваясь замыкает три главных подвижных контакта с неподвижными. Главные контакты закрываются асбестоцементными камерами с дугогасительными стальными решетками. К неподвижным контактам подведены провода от трехфазной сети, к подвижным – провода от электроприемника. Замыкание главных контактов происходит одновременно с замыканием блокировочных контактов, которые используются в цепях автоматического управления, блокировки, защиты и сигнализации.

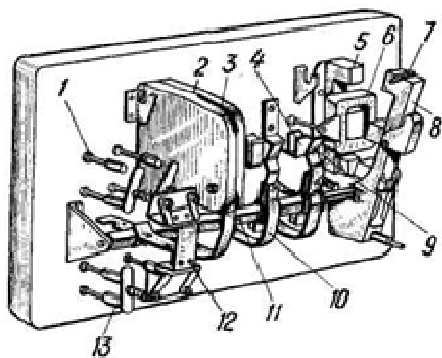


Рис. 4. Трехполюсный электромагнитный контактор переменного тока: 1 - замыкающий блок-контакт; 2 - дугогасительная камера; 3 - решетка камеры; 4 - главные (силовые) контакты неподвижные; 5 - неподвижный магнитопровод; 6 - катушка; 7 - демпфер; 8 - подвижный магнитопровод; 9 - главные (силовые) контакты подвижные; 10 - гибкая связь; 11 - поворотный валик; 12 - траверса блок-контактов; 13 - размыкающий блок-контакт

Магнитные пускатели представляют собой трехфазные контакторы переменного тока с замыкающими главными контактами. Используются для дистанционного и автоматического управления, обеспечивают частые включения и отключения двигателей, реверсирование трехфазных асинхронных двигателей. Управляют ими с помощью отдельно расположенных кнопочных станций. Некоторые типы магнитных пускателей имеют встроенное тепловое реле, защищаю-

щее электродвигатель от недопустимого перегрева при длительной перегрузке. Промышленность выпускает несколько типов магнитных пускателей. Наибольшее распространение получили пускатели серий ПМЕ и ПА (табл. 3, 4). Для электродвигателей следует выбирать соответствующие пускатели (табл. 5).

Для блокировки и защиты применяют: плавкие предохранители, электромагнитные реле максимального тока и автоматы с электромагнитными расцепителями – для защиты электродвигателей от короткого замыкания в силовых цепях; электротепловые реле и автоматы с тепловыми расцепителями – для защиты двигателей от перегрузки при длительной работе; линейные контакторы в агрегатах, управляемых с помощью командоконтроллера, и реле напряжения в агрегатах с кнопочным управлением – для нулевой блокировки; реле времени и реле обрыва поля – для защиты синхронного двигателя от затянувшегося пуска; конечные выключатели предохраняют механизмы от перемещения за границу конечного положения; пусковая кнопка – для пуска оборудования в работу, а также исключения возможности как одновременного, так и ложного включения контакторов «В» («Вперед») и «Н» («Назад»).

Исключая возможность ложных и аварийных включений аппаратов, устройств и машин, блокировки повышают надежность работы системы электропривода. Они делятся на контактные и бесконтактные электрические и механические. По назначению блокировки классифицируются на защитные – для защиты двигателей и механизмов, обеспечения безопасности людей; путевые – для ограничения хода механизмов; разрешающие – для соблюдения заданной последовательности работы схем (например, контакты пускателя маслососа токарного станка дают возможность в нужный момент включить главный привод).

Раздел 4. Электрическое оборудование строительных площадок

Тема 4.1. Электрооборудование сварочных установок

Электродуговая сварка начинается с короткого замыкания сварочной цепи — контакта между электродом и деталью. При этом происходит выделение теплоты и быстрое разогревание места контакта. Эта начальная стадия требует повышенного напряжения сварочного тока.

В процессе сварки при переходе каплевого электрода в сварочную ванну происходят очень частые короткие замыкания сварочной цепи. Вместе с этим изменяется длина сварочной дуги. При каждом коротком замыкании напряжение тока падает до нулевого значения. Для последующего восстановления дуги необходимо напряжение порядка 25...30 В. Такое напряжение должно быть обеспечено за время не более 0,05 с, чтобы поддержать горение дуги в период между короткими замыканиями.

Следует учесть, что при коротких замыканиях сварочной цепи развиваются большие токи (токи короткого замыкания), которые могут вызвать перегрев в проводке и обмотках источника тока. Эти условия процесса сварки в основном и определили требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги. Для обеспечения устойчивого процесса сварки источники питания дуги должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого возбуждения дуги и в то же время не должно превышать нормы техники безопасности. Для однопостовых сварочных генераторов напряжение холостого хода не должно быть более 80 В, а для многопостовых — не более 60 В. Для сварочных трансформаторов установлено наибольшее допустимое напряжение 70 В при сварочной силе тока более 200 А и напряжение 100 В при сварочной силе тока менее 100 А.

2. Напряжение горения дуги (рабочее напряжение) должно быстро устанавливаться и изменяться в зависимости от длины дуги, обеспечивая устойчивое горение сварочной дуги. С увеличением длины дуги напряжение должно быстро возрастать, а с уменьшением — быстро падать. Время восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В после каждого короткого замыкания (при капельном переносе металла от электрода к свариваемой детали) должно быть менее 0,05 с.

3. Значение силы тока короткого замыкания не должно превышать сварочное значение силы тока более чем на 40...50%. При этом источник тока должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи. Это условие необходимо для предохранения обмоток источника тока от перегрева и повреждения.

4. Мощность источника тока должна быть достаточной для выполнения сварочных работ.

Кроме того, необходимы устройства, позволяющие регулировать значение сварочной силы тока в требуемых пределах. Сварочное оборудование должно отвечать требованиям ГОСТов.

Сварочные преобразователи постоянного тока

Сварочные преобразователи постоянного тока подразделяют на следующие группы:

По количеству питаемых постов — однопостовые, предназначенные для питания одной сварочной дуги; многопостовые, питающие одновременно несколько сварочных дуг.

По способу установки — стационарные, устанавливаемые неподвижно на фундаментах; передвижные, монтируемые на тележках.

По роду двигателей, приводящих генератор во вращение, — машины с электрическим приводом; машины с двигателем внутреннего сгорания (бензиновым или дизельным).

По способу выполнения — однокорпусные, в которых генератор и двигатель вмонтированы в единый корпус; отдельные, в которых генератор и двигатель установлены на единой раме, а привод осуществляется через специальную соединительную муфту.

Наибольшее распространение в строительстве получили однопостовые генераторы с расщепленными полюсами, работающие по принципу использования магнитного потока якоря для получения падающей внешней характеристики. Увеличивая или уменьшая реостатом силу тока возбуждения в обмотке поперечных полюсов, изменяют магнитный поток, тем самым изменяются напряжение тока генератора и величина сварочного тока.

Кроме генераторов с размагничивающим действием реакции якоря применяют сварочные генераторы, у которых падающая внешняя характеристика и ограничение величины силы тока короткого замыкания обеспечивается размагничивающим действием последовательной обмотки возбуждения, включенной в сварочную цепь.

В последнее время большое применение в сварочном производстве получили выпрямительные сварочные установки. Они преобразуют переменный ток в постоянный при помощи селеновых, германиевых или кремниевых выпрямителей.

Выпрямительные установки имеют более высокий КПД. Кроме того, следует отметить такие важные преимущества их, как отсутствие вращающихся частей, малую массу, небольшие габариты и дешевизна. Важным преимуществом являются также их высокие динамические свойства вследствие меньшей электромагнитной инерции. Сила тока и напряжение при изменении режима работы сварочной цепи изменяются практически мгновенно. Используемая трехфазная мостовая система выпрямления обеспечивает меньшую пульсацию выпрямленного тока и более равномерную нагрузку фаз силовой сети переменного тока.

Сварочные аппараты переменного тока

Применяемые на заводах и на строительном-монтажных площадках сварочные аппараты переменного тока подразделяют на четыре основные группы:

1. С отдельным дросселем типа СТЭ.
2. Со встроенным дросселем типа СТН и ТСД.
3. С подвижным магнитным шунтом типа СТАН.

4. С увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой типа ТС и ТСК.

Эти группы отличаются по конструкции и по электрической схеме. Сварочные аппараты состоят из понижающего трансформатора и специального устройства. Трансформатор обеспечивает питание дуги переменным током напряжением 60...70 В, а специальное устройство служит для создания падающей внешней характеристики и регулирования величины сварочного тока.

Тема 4.2. Электрооборудование строительных кранов и подъемников

Крановые электродвигатели

Для электропривода в крановых установках широкое применение находят асинхронные двигатели серии МТК с короткой а м кнутым ротором и серии МТ с фазным ротором, а также двигатели постоянного тока серии МП с параллельным, последовательным или смешанным возбуждением. Изготавливаются крановые двигатели серии

КО односкоростные мощностью 4—16 кет и двухскоростные мощностью 4—32 кет во взрывозащищенном исполнении.

Электродвигатели серий МТК и МТ выпускаются на напряжение 220, 380 и 500 в. Мощность двигателей серии МТК — от 2,2 до 28 кет, скорость вращения — 750 и 1000 об/мин (синхронных). Мощность двигателей серии МТ от 2,2 до 125 кет, скорость вращения — 600, 750 и 1000 об/мин (синхронных). Мощность двигателей серии МП — от 2,5 до 130 кет, скорость вращения — номинальная— 420—130 об/мин (меньшая у двигателей большей мощности).

Для электроталей и установок непрерывного транспорта используются асинхронные двигатели общепромышленного исполнения. Широкое применение, в частности, находят двигатели с повышенным скольжением серий АС и АОС, с повышенным моментом серий АПИ и АОГ1, с контактными кольцами серий АК и АОК и др.

Наибольшее распространение в подъемно-транспортных машинах имеют двигатели с горизонтальным расположением вала. Двигатели фланцевого исполнения применяются в приводах механизмов передвижения кранов, электроталей и специальных лебедках; встроенные двигатели — в некоторых машинах непрерывного транспорта и электроталей.

В некоторых случаях двигатели выполняются как единое целое с редуктором и тормозным устройством. Примером подобного конструктивного исполнения являются двигатели с коническим статором и ротором, встроенные внутрь электрических талей. Двигатели с коническим ротором изготавливаются мощностью от 0,25 до 30 кет.

Для подъемного механизма крановых установок промышленность выпускает специальные асинхронные двигатели с электромагнитным (вихревым) тормозом. В приводах транспортеров находят применение двигатели барабанного типа, в барабанах которых встроены редуктор и статор электродвигателя. Вращающийся барабан (ротор) приводит в действие ленту транспортера.

Контроллеры

В электроприводе строительных кранов применяются барабанные, кулачковые и магнитные контроллеры. Контроллеры барабанного типа постепенно выходят из употребления. Для тяжелых условий эксплуатации Крановых установок используются магнитные контроллеры, представляющие собой комплект оборудования, состоящий из командоконтроллера и станции управления (магнитной станции) — панели с установленными на ней контакторами, реле, рубильниками и предохранителями. Для управления крановыми двигателями передвижения и поворота применяют магнитные контроллеры типа ТН-60, для одновременного управления двумя двигателями — магнитные контроллеры типа ДТА-60, для регулирования скорости опускания груза — магнитные контроллеры типа ТСА-60. Командоконтроллер служит для управления магнитной станции — включения и выключения ее контакторов.

Командоаппараты предназначены для воздействия на вспомогательные цепи управления и защиты. К ним относятся кнопочные станции, командоконтроллеры, путевые, конечные и аварийные выключатели.

Кнопки управления выполняются замыкающими (З) или размыкающими (Р), одно- и многоцепными, ручными и ножными. Специальные кнопки исключают возможность запуска механизма без ключа. Из отдельных кнопок управления комплектуются кнопочные станции.

Командоконтроллеры предназначены для сложных переключений в цепях управления. Они могут иметь значительное число положений и большое число цепей управления (в стандартных исполнениях 6 и 12). Командоконтроллеры КК-8000, предназначенные для управления рабочими органами механизма крана, встраиваются в кресло крановщика.

Командоаппараты могут управляться вручную, при помощи ножной педали, вспомогательным двигателем — серводвигателем или самим управляемым механизмом. В последнем случае специальные кулачки или рейки воздействуют на аппарат при переходе через определенные участки пути или после определенного числа оборотов барабана (путевые или конечные выключатели).

Аварийные выключатели служат для мгновенного разрыва основных цепей управления при необходимости быстрой остановки и обесточивания крана, конвейера и т. д. Иногда на одном подъемно-транспортном сооружении устанавливается несколько аварийных выключателей, последовательно включенных в цепь управления.

Конечные выключатели служат для ограничения хода механизмов подъема, передвижения тележек, мостов и башен кранов. В большинстве случаев они имеют контакты, размыкающиеся при переходе механизма через предельные положения. Контакты конечных выключателей в большинстве случаев находятся в цепи катушек контакторов. Конечные выключатели разделяются на тип КУ, действующие при наезде выключающей линейки, каната или груза, и на тип ВУ, действующие при повороте вала на определенный угол. Для целей блокировки используются также рычажные маломощные выключатели типа В-10.

Для управления тормозами подъемно-транспортных машин обычно служат тормозные электромагниты, электрогидравлические и центробежные толкатели

и серводвигатели.

Тормозные электромагниты бывают однофазные и трехфазные. Они характеризуются рабочим напряжением, относительной продолжительностью включения катушки, ходом или углом поворота, тяговым усилием (или моментом) якоря и допустимым числом включений магнита. Включаются тормозные магниты вместе с двигателем и производят растормаживание тормоза; при отключении двигателя тормозной электромагнит мгновенно обесточивается и тормоз замыкается под действием пружины.

Электрогидравлические толкатели используются в пружинных и колодочных тормозах серии ТТ. Они допускают до 720 включений в час. Толкатель снабжен двигателем с коротко-замкнутой ротором, вращающим крыльчатку в цилиндре с маслом. Вращение крыльчатки создает давление масла, не зависящее от направления вращения двигателя. Давление масла вызывает движение поршня, передаваемое через траверсу тормозу.

Толкатели обеспечивают надежное и плавное управление процессом торможения, регулирование скорости крановых механизмов. Для этого двигатели толкателей приключаются к ротору приводного двигателя; питаясь током пониженной частоты, двигатель толкателя развивает неполное число оборотов, тормоз не открывается полностью и, притормаживая механизм, снижает его скорость. Такая система является автоматической импульсной системой регулирования скорости.

Крановые сопротивления предназначены для пуска, регулирования скорости вращения и торможения двигателей переменного и постоянного тока. В зависимости от мощности электродвигателя, плавности регулирования скорости и торможения, сопротивления могут иметь различные величины, разное число ступеней и отличаться конструктивным исполнением. Крановые сопротивления изготавливают из константановой проволоки (типа НК) или из фехральной ленты (типа НТ) толщиной 0,8—1,5 мм: при ширине 8—15 мм, намотанной на ребро. Элементы сопротивлений собираются в стандартные по сопротивлению и размеру ящики сопротивлений.

Тема 4.3. Электрифицированные ручные машины и электроинструменты

В строительстве преимущественное распространение получили электрические и пневматические ручные машины. Электрические ручные машины выгоднее применять при выполнении работ сравнительно небольших объемов, пневматические — при работах средних и больших объемов на объектах, обслуживаемых передвижной компрессорной установкой или располагающих централизованной сетью сжатого воздуха. По сравнению с пневматическими, электрические машины имеют значительно больший (в 4...6 раз) коэффициент полезного действия. Многие виды ручных машин (машины для обработки древесины — дисковые пилы, рубанки, трамбовки для уплотнения грунта, перфораторы и др.) выпускаются только с электрическим приводом.

2. Виды ручных машин

Виды ручных машин	Выполняемые операции
1. Сверлильные машины	Бурение отверстий (шпуров): в скальных грунтах; в кирпиче; бетоне и железобетоне. Сверление отверстий: в деревянных конструкциях и деталях; в металле.
2. Режущие машины	Резание: профильного проката; полимерных материалов; стеклопластика; листового металла. Обработка кромок под сварку.
3. Шлифовальные машины	Резание: арматуры и профильного металла; мелкого проката. Зачистка: голов ж/б свай; металла; сварных швов. Шлифование: шпаклеванных поверхностей; дощатых и паркетных полов; мозаичных и бетонных полов. Подгонка отдельных деталей.
4. Резьбозавертывающие и резьбонарезные машины	Завертывание: шурупов, болтов, гаек, винтов, шпилек. Нарезание резьбы в различных материалах.
5. Машины ударного действия	Разрыхление твердых слежавшихся и мерзлых грунтов. Разрушение бетона, асфальтобетона и железобетона. Рубка металла и арматуры. Бурение отверстий в твердых скальных грунтах и железобетоне. Обработка рабочих швов ранее уложенного бетона. Пробивка: отверстий в бетоне и кирпичной кладке; ниш, гнезд, борозд. Скалывание ж/б свай. Забивка шпилек при закреплении стекол в рамах. Насечка твердого бетонного основания. Снятие графа после огневой резки. Отбивка шлака после сварки. Чеканка сварных швов. Клепка конструкций. Обрубка металла и буртовка труб. Вырубка дефектных сварочных швов, заклепок, болтов, пайки.
6. Уплотняющие машины	Уплотнение: бетонной смеси при формировании монолитных бетонных и ж/б конструкций; бутобетона при устройстве фундаментов; несвязного грунта. Уплотнение и разравнивание бетона при устройстве оснований и покрытий. Трамбование поверхностей оснований.
7. Краскораспылители	Увлажнение и обеспыливание грунта. Смазка: щитов опалубки перед установкой; металлических форм, кассет. Нанесение на поверхность: лакокрасочных покрытий; шпаклевочных масс; грунта. Огрунтовка поверхности жидким стеклом. Лакирование поверхностей.

8.Деревообрабатывающие машины	Строгание и фугование древесины. Обрезка паркетной клепки, фугование кромок, фрезерование пазов. Распиловка лесоматериалов. Выборка отверстий и гнезд прямоугольной формы и шпунтовых пазов. Выпиливание деталей из дерева.
9.Прочие машины	Затирка и заглаживание поверхностей бетонных конструкций и изделий. Очистка арматуры и металлоконструкций от ржавчины и старой краски, окалины, грязи и т.п. Забивка крепежных деталей дюбелей в бетон и кирпичные конструкции. Заточка инструментов. Затирка накрывочного слоя. Развальцовка отверстий.

Устройство ручных машин

Ручные машины состоят из привода, передаточного устройства, рабочего органа и системы управления.

К основным видам ручных машин относятся электрические и пневматические.

Электрические сверлильные машины применяют для получения отверстий в стали, цветных металлах, пластмассах и дереве. По размерам различают легкие, средние и тяжелые машины (диаметры сверления соответственно до 8,15 и 23 мм); по конструкции — прямые и угловые; по роду тока — высокочастотные, низковольтные (36 В) и с приводом, работающим от одно- и трехфазного тока напряжением 127—220 В.

В сверлильных машинах, предназначенных для работ по дереву, выключатель заменен переключателем, обеспечивающим реверсирование сверла, необходимое для его извлечения из просверленного отверстия. Диаметр отверстия до 32 мм.

Электрические гайковерты, ключи, шпильковерты и шуруповерты, предназначенные для монтажных работ с использованием крепежных деталей, выполнены по типу сверлильной машины. Рабочий орган приводится во вращение через редуктор и электродвигатель, размещенные в общем корпусе.

Электрические ножницы применяют для разрезания листовых материалов как по прямым, так и по сложным траекториям.

Электрические дисковые пилы предназначены для распиловки деревянных, реже пластмассовых, деталей и по конструкции аналогичны прямым сверлильным машинам. Однако в некоторых пилах пильный диск насаживается непосредственно на вал электродвигателя, т. е. без редуктора.

Электрические рубанки предназначены для механизации столярных работ и оборудованы обращенным трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Электродвигатель размещен в предохранительном кожухе, а концы его статора неподвижно закрепляются на раме. Сидящий на статоре ротор несет на себе ножевой барабан с закрепленными на нем ножами.

Электрические долбежники служат для выемки в деревянных деталях прямоугольных пазов и гнезд, необходимых для соединения деталей в «шип».

Электрические цепные пилы применяются для распиловки брусков и досок

и состоят из электродвигателя с редуктором и пильной рамы, вокруг которой перемещается рабочая Цепь. Натяжение цепи регулируют с помощью механизма, перемещающего ведомую звездочку.

Электрические лобзики позволяют выпиливать из фанеры и досок толщиной до 15 мм детали криволинейной формы. Их рабочий орган выполнен в виде тонкой пилки, совершающей возвратно-поступательные движения с помощью кривошипного механизма, приводимого в действие через одноступенчатый редуктор от электродвигателя.

Электрические перфораторы легкого типа, предназначенные для бурения скважин в легких породах, отличаются от молотков установкой дополнительного устройства, обеспечивающего непрерывное или прерывистое вращение рабочего наконечника.

Выпускают также перфораторы с вынесенным электродвигателем, вращение от которого сообщается кривошипно-шатунному механизму с помощью гибкого вала. Такая конструкция позволяет в два раза уменьшить массу перфоратора и обеспечивает большую безопасность и надежность в работе.

Электрическая трамбовка используется при земляных работах в стесненных условиях и по конструкции принципиально ничем не отличается от молотков.

Для завинчивания шурупов, винтов, болтов и гаек используется электрошуруповерт ИЭ-3601Б. Он состоит из встроенного электродвигателя, ударного механизма, редуктора, шпинделя и рукоятки. Вращение от электродвигателя передается шпинделю через двухступенчатый редуктор и кулачковую муфту, состоящую из двух полумуфт (ведущей и ведомой). В нерабочем состоянии обе полумуфты разъединены. При нажиме на электрошуруповерт их кулачки входят в зацепление, и отвертка начинает вращаться вместе со шпинделем. Крепление рабочего инструмента в шпинделе обеспечивается шариковым замком. Для удобства работы при завинчивании винтов и шурупов отверстие снабжено ловителем.

Раздел 5. Электроснабжение строительной площадки

Тема 5.1. Источники, передача и распределение электрической энергии

Основным источником электроэнергии в мире являются, как известно, различного рода электростанции – тепловые электростанции, гидроэлектростанции и электростанции атомные.

Тепловые электростанции (ТЭС), работающие на органическом топливе (уголь, мазут, газ, сланцы, торф), являются на сегодня основным видом используемых в России энергопроизводителей. Гидроэлектростанции представляют собой специальные сооружения, возведённые в местах перекрытия больших рек плотиной и использующие энергию падающей воды для вращения турбин электрогенератора. Этот способ получения электроэнергии является наиболее экологичным, поскольку обходится без сжигания тех или иных видов топлива и не оставляет никаких вредных отходов после себя.

Атомные электростанции (АЭС) отличаются от тепловых лишь тем, что, если в ТЭС для нагрева воды и получения пара используется горючее топливо, то в АЭС источником нагрева воды служит энергия тепла, выделяемого в процессе ядерной реакции.

Трансформаторная подстанция – это электрическая установка, назначение которой – преобразовывать (или понижать, или повышать) напряжение в электросети и распределять энергию. Трансформаторная подстанция состоит из нескольких объектов:

1. Силовые трансформаторы;
2. РУ (распределительное устройство);
3. Устройство, автоматически осуществляющее защиту и управление;
4. Вспомогательные сооружения;

Рассмотрим виды трансформаторных подстанций, которые предполагает классификация:

понижающие; повышающие.

Первые подстанции отвечают за преобразование первичного напряжения электросети во вторичное (значительно ниже). Вторые трансформаторные подстанции, как правило, сооружаются при электрических станциях. Их назначение – преобразование напряжения, которое вырабатывается генераторами в напряжение более высокое.

Следующие виды трансформаторных подстанций:

Местные (их еще называют «цеховые»); Районные (самые значимые понижающие).

Эти подстанции отвечают за приём электроэнергии прямо от высоковольтных линий электропередач и передачу её далее на районные трансформаторные подстанции. Затем, понизив напряжение до 35, а в некоторых случаях 6-10 кВ, электричество отправляется дальше – на местные подстанции. Здесь напряжение понижается до 690, 400, 230 В). И – наконец, происходит распределение электроэнергии среди потребителей.

Виды трансформаторных подстанций по назначению:

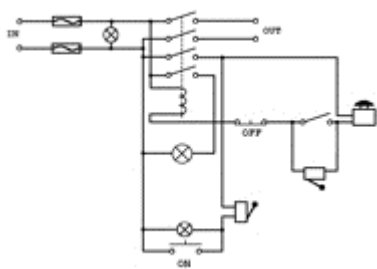
подстанции глубокого ввода; главные понизительные; тяговые, для нужд транспорта, снабженного электрификационной системой; трансформаторные (которые называются еще и «цеховые», если речь идет о промышленных сетях, и «городскими», если речь идет о городских сетях).

Самая главная понижающая подстанция имеет напряжение от 35 до 220 кВ. Эта подстанция подпитывается прямо от энергосистемы района и распределяет электрическую энергию по всему предприятию (причем напряжение более низкое).

Подстанция глубокого ввода имеет напряжение 35-220 кВ. Она выполнена, как правило, по простейшим схемам коммутаций на стороне первичного напряжения. Такие схемы называются «схемы с глубоким вводом».

Виды трансформаторных подстанций определяются исходя из условий их предназначения, места расположения, учёта различных факторов.

Схему электроснабжения строительной площадки или предприятия строительной индустрии выбирают в соответствии с классификацией приемников электроэнергии по требуемой ПУЭ степени бесперебойности электроснабжения, учитывая потребляемую мощность, размещение потребителей на территории строительной площадки или предприятия, расположение источников электрической энергии и срок обеспечения.



Объекты - электроприемники I категории - характеризуются по ПУЭ как электроприемники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение особо важных элементов городского хозяйства. К ним относятся: артезианские скважины, водозаборы,

насосные станции водоснабжения, замораживающие, иглофильтровальные установки; насосные станции водоотлива и водопонижения (польдерная система осушения), цементационные работы, шахтные пассажирские подъемники, электропрогрев бетона, тепловые пункты в сетях теплоснабжения котельные водозабора, вентиляция и водоотлив в тоннелях; подземные и тоннельные работы; перекачка фекальных стоков и т. д. Они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, и перерыв их электроснабжения может быть допущен лишь на время автоматического ввода резервного питания. При небольшой мощности электроприемников I категории в качестве второго источника питания могут использоваться передвижные электростанции, аккумуляторные батареи, двигатели внутреннего сгорания, а также переключки на низшем напряжении от ближайшего пункта, имеющего независимое питание с автоматическим включением резерва (АВР).

Объекты - электроприемники II категории,- характеризуются по ПУЭ как электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества городских жителей. К ним относятся объекты промышленности строительных

материалов: заводы железобетонных изделий - главные корпуса железобетонных изделий, шлакоблоков, ячеистого бетона, транспортные галереи, приемные устройства, бетоносмесительный цех, известегасильное отделение; кирпично-черепичные заводы сушильный цех, прессовый цех, отделение подтопков, котельная; заводы гипса и сухой штукатурки, гипсоблоков; заводы металлоконструкций, а также строительные площадки - компрессорные воздушные установки; канатные дороги, бетонное хозяйство, нефтебазы, ремонтно-механические заводы, тракторные хозяйства, земснаряды, гидромеханизация и станции перекачки к ним; гидромониторы; охлаждение бетона, котельные для бетонных хозяйств, крупные автобазы.

Для приемников II категории допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады. Допускается питание электроприемников II категории по одной воздушной линии 6 кВ или 10 кВ и выше. При питании электроприемников по кабелям допускается питание одной линией, но расщепленной не менее чем на два кабеля, присоединенных через самостоятельные линии. При наличии централизованного резерва допускается питание одним трансформатором.

К объектам - электроприемникам III категории - относятся все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категории, а именно: общезаводские подсобные цехи, вспомогательные объекты и установки промышленности строительных материалов, базы электромонтажа, арматурные мастерские, бетоно- и растворосмесители, плотничные и опалубочные мастерские, лесоцехи, участковые механические мастерские с холодной обработкой металла и т.д. Для них допускаются перерывы электроснабжения на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента схемы электроснабжения, но не более одних суток. Связующим звеном между питающей и внутренней сетью строительной площадки является главная понизительная подстанция (ГПП) или главная распределительная подстанция (ГРП). Распределение электроэнергии от ГПП, ГРП до подстанций на строительстве или до цеховых подстанций выполняется по радиальным, магистральным или комбинированным схемам в зависимости от расположения потребителей и требуемого уровня надежности.

Тема 5.2. Электрические сети и освещение строительной площадки

Электрическая энергия универсальна: она удобна для дальних передач, легко распределяется по отдельным потребителям и с помощью сравнительно несложных устройств преобразуется в другие виды энергии.

Эти задачи решает энергетическая система, где осуществляются преобразование энергии топлива или падающей воды в электрическую энергию, трансформация токов и напряжений, распределение и передача электрической энергии потребителям.

Часть энергетической системы, включающую трансформаторные подстанции (ТП) и линии электропередачи (ЛЭП), называют электрической сетью. Та-

ким образом, электрическая сеть служит для передачи электрической энергии от мест производства к местам потребления и для распределения ее по группам и отдельным потребителям.

Электрические сети классифицируют по различным признакам:

по роду тока; по номинальному напряжению; конфигурации схемы сети; по выполняемым функциям; по характеру потребителя; по конструктивному выполнению.

По роду тока различают сети переменного и постоянного тока:

ЛЭП постоянного тока применяются для дальнего транспорта электрической энергии и связи электрических сетей с разными номинальными частотами или с различными подходами к регулированию при одной номинальной частоте.

Каждая сеть характеризуется номинальным напряжением. Различают номинальные напряжения ЛЭП, генераторов, трансформаторов и электроприемников.

Номинальное напряжение генераторов по условию компенсации потерь напряжения в сети принимают на 5% выше номинального сетевого напряжения. Номинальные напряжения обмоток трансформатора принимают равными номинальному напряжению сети или на 5% выше в зависимости от вида трансформатора и напряжения сети.

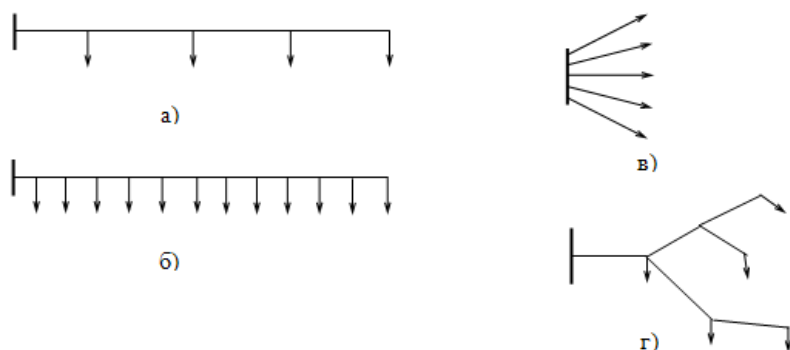
По величине номинального напряжения сети подразделяются:

- на сети низкого напряжения (НН) – до 1000 В;
- среднего напряжения (СН) – 3...35 кВ;
- высокого напряжения (ВН) – 110...220 кВ;
- сверхвысокого напряжения (СВН) – 330-750 кВ;
- ультравысокого напряжения (УВН) – свыше 1000 кВ.

По конфигурации электрические сети различают:

разомкнутые; разомкнутые резервированные; замкнутые.

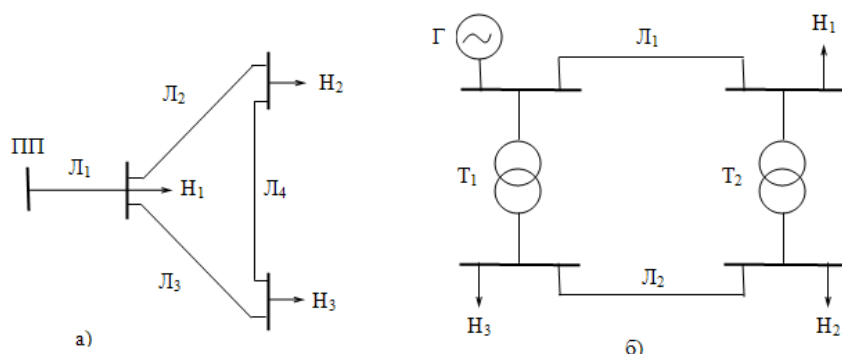
Разомкнутыми называют такие сети, которые питаются от одного пункта и передают электрическую энергию к потребителю только в одного направлении. Разомкнутые сети бывают магистральными, радиальными и радиально-магистральными (разветвленными). В разомкнутых резервированных сетях при нарушении питания по одной из ЛЭП вручную или автоматически включается резервная перемычка, по которой восстанавливается электроснабжение отключенных потребителей. Замкнутыми называют сети, питающие потребителей по меньшей мере с двух сторон.



Виды схем: а - магистраль; б - линия с равномерно распределенной нагрузкой; в - радиальная схема; г - радиально-магистральная схема.

Магистралью называется линия с промежуточными отборами мощности вдоль линии. В предельном случае с увеличением числа нагрузок получается линия с равномерно распределенной нагрузкой, т.е. плотность нагрузки на единицу длины одинакова для любого участка. Радиальные линии исходят из одной точки сети.

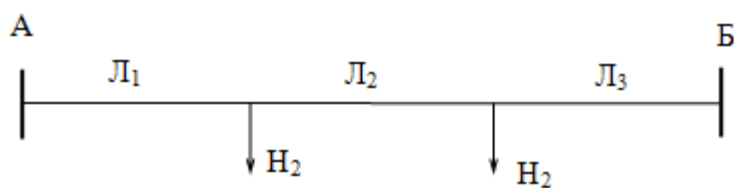
Замкнутыми сетями называются сети, имеющие контуры (циклы), образованные ЛЭП и трансформаторами.



Примеры замкнутых электрических сетей: а- сеть одного напряжения; б- сеть двух напряжений.

К замкнутым сетям относятся также сети, имеющие несколько источников питания. Одной из таких схем является так называемая линия с двухсторонним питанием.

Пример замкнутых электрических сетей, имеющих несколько источников питания:



По выполняемым функциям различают:

Системообразующие сети;

Питающие сети;

Распределительные сети.

Системообразующие сети напряжением 330-1150 кВ осуществляют функции формирования объединенных энергосистем, объединяя мощные электрические станции и обеспечивая их функционирование как единого объекта управления и одновременно обеспечивают передачу электрической энергии от мощных электрических станций.

Питающие сети предназначены для передачи электрической энергии от ПС системообразующей сети и частично от шин 110-220 кВ электрических станций

к центрам питания (ЦП) распределительных сетей – районным ПС.

Распределительная сеть предназначена для передачи электрической энергии на небольшие расстояния от шин низшего “U” районных ПС к промышленным, городским, сельским потребителям. Такие распределительные сети обычно разомкнутые или работают в разомкнутом режиме.

Различают распределительные сети высокого ($U_{ном} > 1 \text{ кВ}$) и низкого ($U < 1 \text{ кВ}$) напряжения.

По месту расположения и характеру потребителя различают сети:

Промышленные;

Городские;

Сельские;

Электрифицированных железных дорог;

Магистральных нефте- и газопроводов.

Сети внутреннего электроснабжения крупных городов – это сети 110 кВ, в отдельных случаях к ним относятся глубокие вводы 220/10 кВ.

Сети с/х назначения выполняют на напряжении 0,4-110 кВ.

По конструктивному выполнению различают сети:

Воздушные;

Кабельные;

Токопроводы промышленных предприятий;

Проводки внутри зданий и сооружений.

При проектировании зданий и сооружений необходимо учитывать освещенность помещений, в которых будут постоянно пребывать люди. Особенно важна освещенность в детских учреждениях (детских садах и школах), больницах, кабинетах и т.п. Это связано с напряженной зрительной работой, которую будут производить люди в этих помещениях.

Освещение помещений бывает естественное и искусственное.

Естественное освещение это освещение помещения через окна, потолки и другие прозрачные строительные конструкции.

Искусственное освещение бывает двух видов: общее и комбинированное.

Комбинированное освещение рекомендуется там, где нужна высокая точность выполняемых работ, где возникают специфические требования к освещению, где оборудование создает глубокие, резкие тени или рабочие поверхности расположены вертикально (штампы, гильотинные ножницы), а также там, где на различных рабочих местах производственного помещения требуется различная (резко отличающаяся) величина освещенности.

Система общего освещения может быть рекомендована в помещениях, где по всей площади выполняются однотипные работы (в литейных цехах), а также там, где создание местного освещения затруднительно. Для обеспечения наиболее благоприятного соотношения яркости в поле зрения при комбинированном освещении светильники общего освещения должны создавать на рабочей поверхности не менее нормируемой освещенности.

Рабочее (общее) освещение – это основное освещение, которое обеспечивает нормальные условия для нахождения человека в помещении. Под нормальными понимаются условия жизнедеятельности человека, при которых он

не напрягает зрение, чтобы выполнить любое действие для которого данное помещение предназначено.

Источниками света в современных светильниках являются три основных вида ламп:

- лампы накаливания – это самый простой прибор, преобразующие электрическую энергию в световую путем обычного нагревания вольфрамовой спирали.

- газоразрядные лампы – к этой категории относятся лампы в основе которых лежит свет, производимый электрическим разрядом в газе или парах металла. Данные светильники занимают преобладающие позиции среди осветительных приборов. Виды таких ламп отличаются многообразием: это и «энергосберегающие» лампы, активно проталкиваемые последнее время в массы, и ртутные лампы типа ДРЛ, используемые в прожекторах, и лампы уличного освещения (натриевые ДНаТ) и многие другие.

- светодиодные лампы – новое и перспективное развитие осветительных приборов, связанное с появлением сверхярких светодиодов.

Наряду с рабочим освещением в соответствии со СНиП в производственных помещениях может быть предусмотрено аварийное освещение для эвакуации работающих и аварийное освещение для продолжения работ.

Тема 5.3. Расчет электроэнергии. Энергосберегающие технологии

Сбережение энергии всех видов – эта задача все в большем объеме предстает перед человечеством.

Именно поэтому энергию рационально получать из возобновляемых источников и полученные ресурсы расходовать экономно. Энергосберегающие технологии разрабатываются на основе инновационных решений, они на данный момент являются выполнимыми технически и приносят экономическую выгоду. Особенно большие энергопотери происходят при потреблении энергии, причем 10% теряется при доставке ее потребителю. Средство для достижения такой цели – использование энергосберегающих технологий. Они работают по двум направлениям: совершенствование технологий энергодобычи и методы ресурсосбережения.

- применение в производстве общих технологий энерго и ресурсосбережения, это установка двигателей переменной частоты, использование теплообменников, сжатого воздуха, энергосберегающих ламп освещения, энергии пара и многие другие.

- производство энергии с применением эффективных технологий, к примеру, строительство и ввод современных индивидуальных котельных с оборудованием конденсационного типа, совмещающих энергию сгорания газа и энергию водяного пара. Так же эффективны технологии, основанные на тригенерации, которые используют энергию тепла, холода и электричества.

- использование альтернативных источников энергии (солнца, воды, ветра, пр.)

Давно доказано, что основные потери происходят в работе оборудования, которое работает большую часть времени с пониженной нагрузкой. К ним относят насосы, вентиляторы охладительные и тепловые, конвейеры различного

типа. Для таких производств разработаны специальные приводы с частотной регулировкой. Они позволяют существенно экономить энергию за счет отключения мощности во время низкой нагрузки. Также огромную экономию при возникновении проблемы работы приборов с пониженной нагрузкой приносят конденсаторные устройства, кроме экономии они еще и приносят значительное количество дополнительной энергии.

Ресурсо- и энергосберегающие технологии активно применяются в строительстве. Реализуются они комплексно, это монтаж энергосберегающей кровли, использование энергосберегающих красок, утепление стен, современные стеклопакеты, высокотехнологичное и экономное отопление и охлаждение.

Отдельным эффективнейшим направлением в энергосберегающих технологиях стала разработка и установка современных котельных, которые обеспечивают высокую экономию потребления топлива, снижают затраты на их обслуживание. Главный показатель энергосбережения – это КПД работы котла. В конденсационных установках, подключенных в каскад, он реально составляет 110%. Кроме этого потребители получают ряд бытовых удобств, к примеру, вода от 10 до 60 градусов нагревается в такой установке за 15 секунд. Работают установки на недорогом газовом топливе.

Еще одна экономичная технология – оборудование индивидуальных котельных для многоэтажек, вместо давно морально устаревших центральных тепловых пунктов. Современные котельные работают без вибрации, шума, они компактны.

Вентиляция также стала предметом научных разработок, которые уже широко внедряются в практику. При создании вентиляционных систем применяют эффект рекуперации тепла. Это повторное использование отработанного воздуха и экономия на снижении мощности во время низкой потребности в тепле, в зависимости от количества работающих в помещении. При внедрении такой системы начинает эффективно использоваться тепло, вырабатываемое самими людьми, оборудованием и станками, осветительными приборами. При такой организации существенно снижается потребность в прямом тепле, вырабатываемом теплосетями или частной котельной.

В частном строительстве применяются ресурсо и энергосберегающие технологии «жилища нулевой энергии», «пассивных домов». Все эти виды домов относятся к классу энергоэффективных домов, которые обеспечивают зимой тепло, а летом прохладу без систем кондиционирования и отопления. Но не многие рискуют строить дома без коммуникаций, но с успехом используют технологии экономии энергии:

- трубы отопления и ГВС должны иметь энергоэффективную изоляцию
- установка индивидуальной котельной
- установка тепловых насосов, использующие кроме прямых источников энергию тепла земли, теплого воздуха из вытяжки и теплой воды из стока
- установка солнечных коллекторов для ГВС и для системы охлаждения
- установка в многоквартирных домах индивидуальных счетчиков тепла с возможностью регулирования мощности отопления
- установка механической вытяжки с возможностью регулировки вентиля-

ции и вторичного использования тепла вытяжного воздуха

- установка контроллеров на каждую квартиру в целях регулировки мощности отопления и вентиляции
- монтаж ограждающих здания теплозащитных конструкций с высокими показателями устойчивости тепла
- установка устройств, повышающих освещенность помещений, работающих на рассеянной солнечной радиации
- использование теплой отработанной воды в других контурах – для теплого пола, для отопления ванных комнат и пр.
- разработка и внедрение систем энергосбережения, которые создают особый микроклимат помещений, с помощью математической модели единой энергоэффективной системы.

Инновационные технологии в энергосбережении представлены «умными» осветительными систем, которые автоматически включаются только тогда, когда в комнате находится человек, за счет датчиков на движение и на голос. Причем активируются датчики только с наступлением сумерек, дальность их действия – 5 метров. В системах используются энергосберегающие лампы, процент экономии у которых достигает 80-ти. Причем, лампы энергосбережения и системы ограниченного включения можно устанавливать не только в квартире, но и на улице: в приусадебном парке, на парковках и стоянках, подземных переходах и пр.

Тема 5.4. Электробезопасность на строительной площадке

При выполнении почти всех видов строительных процессов используется электричество. Даже при работах старыми неиндустриальными методами широко используется электроинструмент. Поэтому нарушение правил электробезопасности часто приводит к поражению рабочих-строителей электрическим током, влекущему за собой ожоги кожи, тканей мышц и кровеносных сосудов; потерю сознания; расстройство нервной системы; разложение кровяных телец и др. Различают два вида поражения электрическим током: электротравмы, вызывающие наружные поражения ткани и электроудары, вызывающие поражения внутренних органов. При использовании постоянного тока чаще случаются наружные поражения тканей. Основными причинами поражения электрическим током являются случайные прикосновения людей к оголенным проводам воздушной электросети, неудовлетворительное ограждение и заземление электроустановок, оставление электроприборов без надзора и др. Степень тяжести поражения зависит от силы тока и условий «включения человека» в электросеть. Так, при двухфазовом прикосновении (рис. 21.1) человек подвергается воздействию полного напряжения 380 В, к тому же ток проходит от одной руки к другой через сердце. Такое прикосновение может оказаться смертельным.

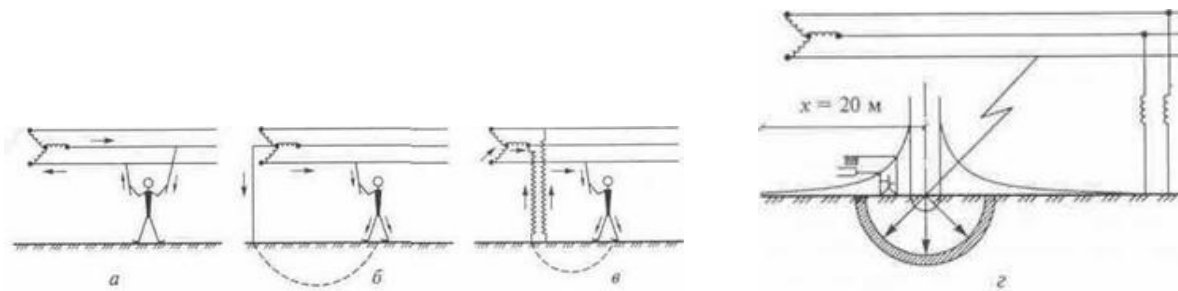


Рис. 21.1. Схемы возможных контактов человека с электрическим током: а — двухфазовое включение; б — однофазовое включение; в — то же с изолированной нейтралью; г — шаговое напряжение

При однофазовом включении степень опасности уменьшается. В эксплуатации электроустановок такое соприкосновение случается довольно часто. Например, при замене сгоревших электролампочек или плавких предохранителей. К смертельным исходам такой контакт, как правило, не приводит, но в зависимости от степени сопротивляемости организма человека может привести к серьезным последствиям, вплоть до инвалидности. При обрывах проводов и однополюсном замыкании электросети на земле может образоваться зона растекания электрического тока с потенциалом, изменяющимся по закону гиперболы (см. рис. 21.1). Через точки соприкосновения с землей движущегося человека из-за разности потенциалов возникает движение электричества. Напряжение электрического тока (шаговое напряжение) зависит от силы тока, распределения потенциалов на поверхности земли, длины шага и других факторов. Установлено, что на расстоянии x более 20 м от места замыкания тока потенциал снижается настолько, что становится неопасным. Чтобы выйти из зоны растекания тока, рекомендуется носить диэлектрическую обувь и перемещаться в зоне растекания короткими шажками или прыжками. Поражение человека может произойти и в результате разряда статического электричества, накапливающегося на металлических деталях машин, при трении, запыленности воздуха в помещении и т. п. Поэтому для предотвращения разрядов статического электричества рекомендуются анти электростатические покрытия и пропитки, заземляющие устройства, нейтрализаторы и пр. Рабочим рекомендуется носить антистатическую обувь и спецодежду.

На стройках, как правило, используется трехфазный переменный ток напряжением 380/220 и 220/127 В. В этих условиях основными средствами электробезопасности являются: тщательная изоляция токоведущих частей электрооборудования, зануление и защитное заземление оборудования и инструментов; применение пониженного напряжения; применение ограждения, сигнализации и блокировки электрооборудования, предохранителей и автоматических выключателей; использование резиновых перчаток, сапог и других средств индивидуальной защиты. В качестве естественных заземлителей обычно используют любые металлические конструкции, имеющие хорошее соединение с землей: трубопроводы, подкрановые пути и др. В качестве искусственных заземлителей применяют металлические стержни, куски труб, металличе-

ские уголки или полосы.

При поражении человека электрическим током необходимо принять срочные меры по его освобождению от действия тока и оказать ему медицинскую помощь. В случае поражения электрическим током (до прибытия врача) рекомендуется: отключить ток, удалить пострадавшего от токоведущих частей; обеспечить покой пострадавшего, создать приток свежего воздуха, согреть тело; при отсутствии сердцебиения применить к пострадавшему методы искусственного дыхания, при необходимости с параллельным массажем в области сердца.

Раздел 6. Основы электроники

Тема 6.1. Физические основы электроники, электронные приборы

Вакуум – состояние газа при давлении, меньшем атмосферного. Это понятие применяется к газу в замкнутом сосуде или в сосуде, из которого откачивают газ, а часто и к газу в свободном пространстве, например к космосу. Поток электронов в вакууме является разновидностью электрического тока. Такой электрический ток в вакууме можно получить, если в сосуд, откуда тщательно откачивается воздух, поместить нагреваемый катод, являющийся источником «испаряющихся» электронов, и анод. Между катодом и анодом создается электрическое поле, сообщающее электронам скорости в определенном направлении.

Для того, чтобы в цепи протекал постоянный электрический ток, достаточно нагреть один из металлических электродов, а именно электрод, соединённый с отрицательным полюсом источника тока. В этом случае электроны, вылетая из нагретого металла, будут притягиваться к положительно заряженному электроду, и в цепи будет протекать ток.

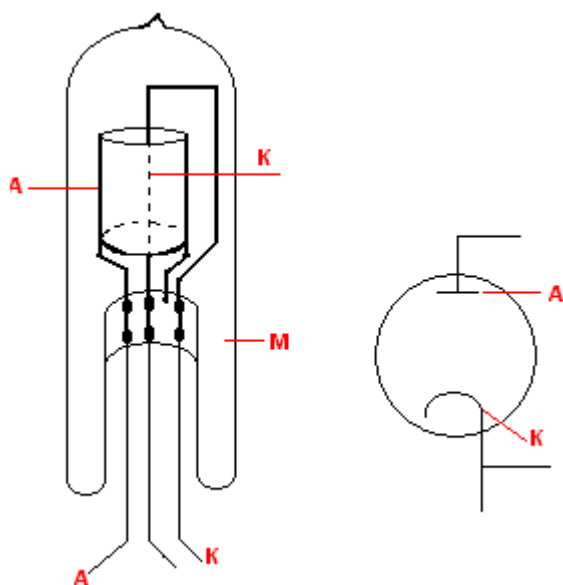


Рис.1

Современный диод состоит из стеклянного или металлического баллона (рис.1), из которого тщательно откачивается воздух. В баллон впаяны два электрода, один из которых (катод) изготовляют в виде нити из тугоплавкого металла, обычно вольфрама, которая может разогреваться от источника тока для создания электронного «облачка» в баллоне. Анод диода чаще всего имеет форму цилиндра, внутри которого по оси расположен накаливаемый катод.

Для улучшения действия электронной лампы в нее вводят дополнительные сетки. Лампу с двумя сетками называют тетродом (т. е. четырехэлектродной), с тремя — пентодом (пятиэлектродной). Появление электронных ламп разнообразных устройств, основанных на их применении, сыграли огромную роль в развитии радио. Триод также применяют, как генератор электрических колебаний. Потоком электронов, движущихся в электронной лампе от катода к аноду можно управлять с помощью электрических и магнитных полей. Простейшим электровакуумным прибором, в котором осуществляется управление потоком электронов с помощью электрического поля, является триод. Баллон, анод и катод вакуумного триода имеют такую же конструкцию, как и у диода, однако на пути электронов от катода к аноду в триоде располагается третий электрод, называемый сеткой. Обычно сетка – это спираль из нескольких витков тонкой проволоки вокруг катода

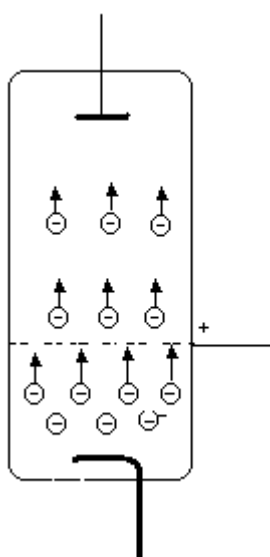


Рис.9

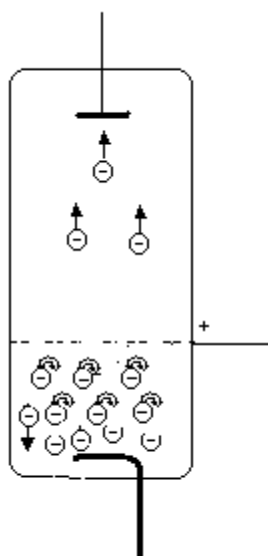


Рис.10

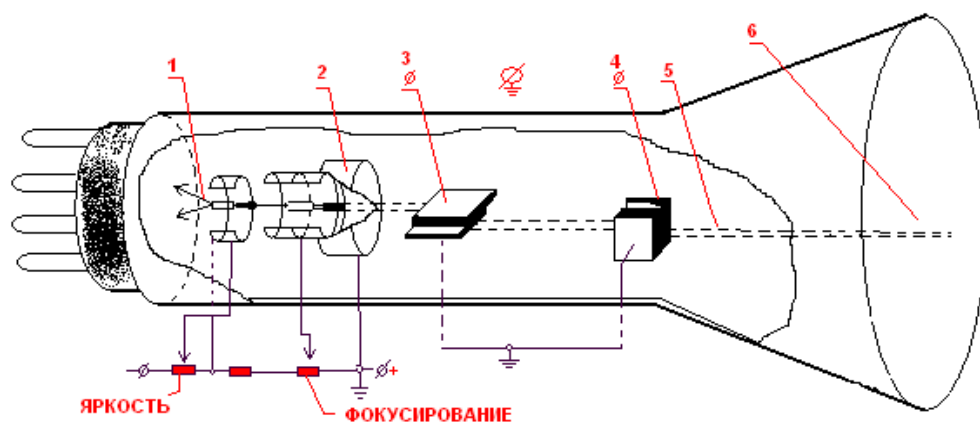
Если на сетку подаётся положительный потенциал относительно катода (рис.9), то значительная часть электронов пролетает от катода к аноду, и в цепи анода существует электрический ток. При подаче на сетку отрицательного потенциала относительно катода электрическое поле между сеткой и катодом препятствует движению электронов от катода к аноду (рис.10), анодный ток убывает. Таким образом, изменяя напряжение между сеткой и катодом, можно регулировать силу тока в цепи анода, что и послужило причиной названия сет-

ки управляющей.

Электроны, испускаемые нагретым катодом, можно с помощью электрических полей разгонять до высоких скоростей. Пучки электронов, движущихся с большими скоростями, можно использовать для получения рентгеновских лучей, плавки и резки металлов. Способность электронных пучков испытывать отклонения под действием электрических и магнитных полей и вызывать свечение кристаллов используется в электронно-лучевых трубках.

Электронно-лучевая трубка – прибор с одним или несколькими управляемыми электронными пучками. Если электронный пучок попадает на тела, то они нагреваются, что используется для электронного плавления и сварки материалов в вакууме и обеспечивает их сверхвысокую чистоту.

Некоторые вещества под действием электронных пучков светятся, что используется в телевидении, радиолокации, осциллографах и т.п.



В узкой части вакуумного баллона расположен цилиндрический катод, подогреваемый металлической спиралью 1, по которой пропускают электрический ток. С помощью диафрагмы 2 из электронов, излучаемых катодом, выделяется узкий электронный пучок 5 (электронный луч). В электрическом поле, созданном между катодом и цилиндрическим анодом, электроны ускоряются до скорости порядка 10^4 км/с. Катод с подогревом, диафрагма и анод образуют электронную пушку.

Электронный луч проходит через два конденсатора 3 и 4, пластины которых расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях, и попадает на экран 6, покрытый веществом, которое светится при ударе попадающих на него электронов. На экране можно видеть светящуюся точку в том месте, куда попадает электронный пучок.

Газоразрядная лампа – это электронная лампа, содержащая достаточно газа, чтобы существенным образом влиять на ее характеристики. Давление этого газа ниже атмосферного. Обычно для наполнения газоразрядных ламп используют инертные газы (неон, аргон и др.) или пары ртути. Характеристики лампы определяются как свойствами используемого газа, так и его давлением внутри лампы.

Газоразрядный диод (газотрон) – это диод, в котором присутствие газа со-

здает высокую проводимость в прямом направлении. Электроны, эмиттируемые катодом, ускоряются к аноду, и в результате возникает разряд. Разряд продолжается до тех пор, пока потенциал анода не станет ниже некоторого потенциала отсечки. Но как только анод становится отрицательным, нехватка электронов уже не в состоянии снова инициировать разряд. Если, однако, потенциал анода понижается до большой отрицательной величины (например, более -100 В), то разряд запускается электронами, эмиттируемыми анодом. Другими словами, анод легче эмиттирует электроны, когда его потенциал не нулевой, а отрицательный. Электроны могут высвободиться в результате термоэмиссии даже при комнатной температуре из-за их теплового движения. Они могут также появляться вследствие фотоэлектрических процессов, вызываемых бомбардировкой фотонами. В любом случае эмиттируемые электроны будут вызывать в лампе ионизацию с последующим разрядом. Поэтому большие отрицательные напряжения на аноды газоразрядных диодов обычно не подают. Тем не менее такие диоды находят применение в низковольтных схемах выпрямления, в частности, в устройствах для зарядки батарей, где требуется большой ток в прямом направлении.

Тиратрон – газоразрядный триод, обычно с подогревным катодом. Анод тиратрона, как правило, поддерживается под достаточно высоким потенциалом, чтобы инициировать разряд, когда сетка имеет потенциал катода. (На сетке же поддерживается отрицательный потенциал, чтобы не допустить выхода электронов из прикатодной области и возбуждения разряда.) В нужный момент по сигналу потенциал сетки повышается настолько, чтобы запустить разряд. После возникновения разряда сетка не управляет им до тех пор, пока анодное напряжение не понизится до уровня, при котором разряд погаснет.

Люминесцентная лампа является газоразрядным источником света. Конструктивно она представляет собой стеклянную трубку с нанесенным на внутреннюю поверхность слоем люминофора. В торцах трубки установлены спиральные электроды. Внутри лампы находятся разреженные пары ртути и инертный газ. Под действием электрического напряжения (поля), приложенного к электродам, в лампе возникает газовый разряд. При этом проходящий через пары ртути ток вызывает ультрафиолетовое излучение. Ультрафиолетовое излучение, воздействуя на люминофор, заставляет его светиться, т.е. люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимый свет.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) делятся на осветительные общего назначения и специальные. К ЛЛ общего назначения относят лампы мощностью от 15 до 80 Вт с цветовыми и спектральными характеристиками, имитирующими естественный свет различных оттенков. Для классификации ЛЛ специального назначения используют различные параметры. По мощности их разделяют на маломощные (до 15 Вт) и мощные (свыше 80 Вт); по типу разряда на дуговые, тлеющего разряда и тлеющего свечения; по излучению на лампы естественного света, цветные лампы, лампы со специальными спектрами излучения, лампы ультрафиолетового излучения; по форме колбы на трубчатые и фигурные; по светораспределению с ненаправленным светоизлучением и с направленным (рефлекторные, щелевые, панельные и др.).

Маркировка обычно состоит из 2-3 букв. Первая буква Л означает люминесцентная. Следующие буквы означают цвет излучения: Д - дневной; ХБ - холодно-белый; Б - белый; ТБ - теплорель; Е - естественно-белый; К, Ж, З, Г, С - соответственно красный, желтый, зеленый, голубой, синий; УФ - ультрафиолетовый. У ламп с улучшенным качеством цветопередачи после букв, обозначающих цвет, стоит буква Ц, а при цветопередаче особо высокого качества - буквы ЦЦ. В конце ставят буквы, характеризующие конструктивные особенности: Р - рефлекторная, У - U-образная, К - кольцевая, А - амальгамная, Б - быстрого пуска. Цифры обозначают мощность в ваттах. Маркировка ламп тлеющего разряда начинается с букв ТЛ.

Тема 6.2. Полупроводниковые приборы

Полупроводники представляют собой вещества, которые по своей удельной электрической проводимости занимают среднее место между проводниками и диэлектриками. В современных полупроводниковых приборах широко используются такие полупроводники, как германий, кремний, селен, арсенид галлия и др.

Для полупроводников характерен отрицательный температурный коэффициент электрического сопротивления. При возрастании температуры сопротивление полупроводников уменьшается, а не увеличивается, как у большинства твердых проводников. Кроме того, электрическое сопротивление полупроводников сильно зависит от количества примесей в полупроводниках сильно зависит от таких внешних воздействий, как свет, электрическое поле, ионизирующее излучение и др.

Принципы работы полупроводниковых диодов и транзисторов связаны с тем, что в полупроводниках существует электропроводность двух видов. Так же, как и металлы, полупроводники обладают электронной электропроводностью, которая обусловлена перемещением электронов проводимости. При обычных рабочих температурах в полупроводниках всегда имеются электроны проводимости, которые очень слабо связаны с ядрами атомов и совершают беспорядочное тепловое движение между атомами кристаллической решетки. Эти электроны под действием разности потенциалов могут получить дополнительное движение в определенном направлении, которое и является электрическим током. Полупроводники обладают также дырочной электропроводностью, которая не наблюдается в металлах. Отсутствие электрона в атоме полупроводника, т.е. наличие в атоме положительного заряда, назвали дыркой. Этим подчеркивают, что в атоме не хватает одного электрона, т.е. образовывалось свободное место. Дырки ведут как элементарные положительные заряды.

Электронно-дырочный переход

Область на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности называется электронно-дырочным или р-п переходом. Электронно-дырочный переход обладает свойством несимметричной проводимости, т.е. представляет собой нелинейное сопротивление. Работа почти всех полупроводниковых приборов, применимых в радиоэлектронике, основана на использова-

нии свойств одного или нескольких p-n переходов.

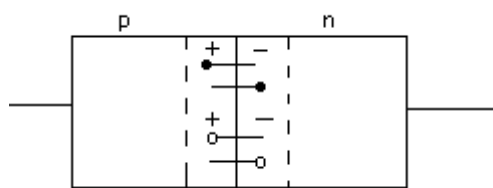


Рисунок 1

Пусть внешнее напряжение отсутствует (рис.1). Так как носители

заряда в каждом полупроводнике совершают беспорядочное тепловое движение, т.е. имеют некоторые тепловые скорости, то и происходит их диффузия (проникновение) из одного полу-

проводника в другой. Как и в любом другом случае диффузии, на пример наблюдающейся в газах и жидкостях, носители перемещаются оттуда, где их концентрация велика, туда, где их концентрация мала. Таким образом, из полупроводника n-типа в полупроводник p-типа диффундируют электроны, а в обратном направлении из полупроводника p-типа в полупроводник n-типа диффундируют дырки. Это диффузионное перемещение носителей показано на рисунке 1 сплошными стрелками. В результате диффузии носителей по обе стороны границы раздела двух проводников с различным типом электропроводности создаются объемные заряды различных знаков. В области n возникает положительный объемный заряд. Он образован положительно заряженными атомами донорной примеси и прошедшими в эту область дырками. Подобно этому в области p возникает отрицательный объемный заряд, образованный отрицательно заряженными атомами акцепторной примеси и пришедшими сюда электронами. На рисунке 1 для упрощения носители и атомы примесей показаны только в области перехода.

Между образовавшимися объемными зарядами возникают так называемая контактная разность потенциалов $U =$ и электрическое поле. Направление вектора напряженности этого поля E показано на рисунке 1. Перемещение неосновных носителей зарядов под действие поля, называемое дрейфом носителей. Каждую секунду через границу в противоположных направлениях диффундирует определенное количество электронов и дырок, а под действием поля такое же их количество дрейфует в обратном направлении.

Перемещение носителей за счет диффузии называют диффузным током, а движение носителей под действием поля представляет собой ток проводимости. В установившемся режиме, т.е. при динамическом равновесии перехода, эти токи противоположны по направлению. Поэтому полный ток через переход равен нулю, что и должно быть при отсутствии внешнего напряжения.

Полупроводниковые диоды подразделяются по многим признакам. Прежде всего следует различать точечные, плоскостные и поликристаллические диоды. У точечных диодов линейные размеры, определяющие площадь p-n перехода, такого же порядка как толщина перехода, или меньше ее. У плоскостных диодов эти размеры значительно больше толщины перехода.

Точечные диоды имеют малую емкость p-n перехода и поэтому применяются на любых частотах вплоть до СВЧ. Но они могут пропускать токи не более единиц или нескольких десятков миллиампер. Плоскостные диоды в зависимости от площади перехода обладают емкостью в десятки пикофарад и более. Поэтому их применяют на частотах не более десятков килогерц. Допустимый ток в плоскостных диодах бывает от десятков миллиампер до сотен ампер

и больше.

Основой точечных и плоскостных диодов являются пластинки полупроводника, вырезанные из монокристалла, имеющего во всем своем объеме правильное кристаллическое строение. В качестве полупроводниковых веществ для точечных и плоскостных диодов применяют чаще всего германий и кремний, а в последнее время также и арсенид галлия и карбид кремния.

Поликристаллические диоды имеют р-n переход, образованный полупроводниковыми слоями, состоящими из большого количества кристаллов малого размера, различно ориентированных друг относительно друга и поэтому не представляющих собой единого монокристалла. Эти диоды бывают селеновыми, меднозакисные (купроксные) и титановые.

Принцип устройства точечного диода показан на рисунке 3(а). В нем тонкая заостренная проволочка (игла) с нанесенной на нее примесью приваривается при помощи импульса тока к пластинке полупроводника с определенным типом электропроводности. При этом из иглы в основной полупроводник диффундируют примеси которые создают в нем область с другим типом проводимости. Это процесс наз. формовкой диода. Таким образом, около иглы получается мини р-n переход полусферической формы. Следовательно, принципиальной разницы между точечными и плоскостными диодами нет.

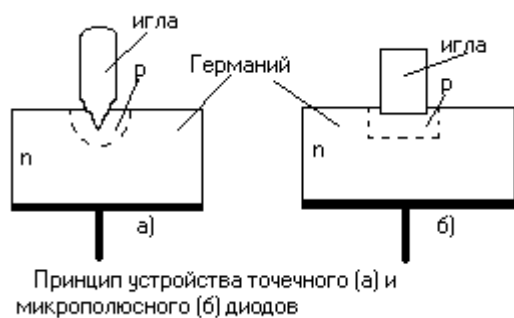


Рисунок 3 еемые микро плоскостные или микросплавные диоды, которые имеют несколько больший по плоскости р-n переход, чем точечные диоды(б).

Транзистор, или полупроводниковый триод, являясь управляемым элементом, нашел широкое применение в схемах усиления, а также в импульсных схемах.

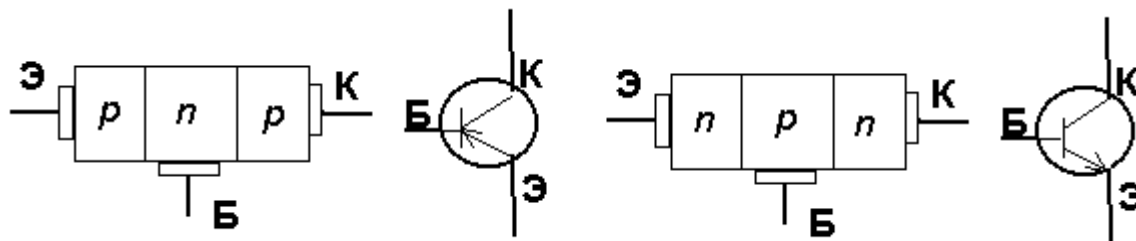
Отсутствие накала, малые габариты и стоимость, высокая надежность- таковы преимущества, благодаря которым транзистор вытеснил из большинства областей техники электронный лампы.

Биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру с чередующимися типом электропроводности слоев и содержит два р-n перехода. В зависимости от чередования слоев существуют транзисторы типов р-n-р и n-р-n (рисунок 5). Их условное обозначение на электронных схемах показано на том же рисунки. В качестве исходного материала для получения трехслойной структуры используют германий и кремний.

Трехслойная транзисторная структура создается по сплавной или диффузионной технологии, по которой выполняется и двухслойная структура проводниковых диодов. Трехслойная транзисторная структура типа р-n-р, выполненная по сплавной технологии Пластина полупроводника n-типа является основанием, базой конструкции. Два наружных р-слоя создаются в результате диффузии в них акцепторной примеси при сплавлении с соответствующим материалом. Один из слоев называется эмитерным, а другой- коллекторным . Так же

называются и р-п-переходы создаваемые этими слоями со слоем базы, а также внешние выводы от этих слоев.

В полупроводниковом триоде две р-области кристалла разделяются узкой п-областью. Такой триод условно обозначают р-п-р. Можно делать и п-р-п триод, т.е. разделять две п-области кристалла узкой р-областью (рис.).



Триод р—п—р типа состоит из трех областей, крайние из которых обладают дырочной проводимостью, а средняя -электронной. К этим трем областям триода делаются самостоятельные контакты э, б и к, что позволяет подавать разные напряжения на левый р-п-переход между контактами э и б и на правый п-р-переход между контактами б и к.

Если на правый переход подать обратное напряжение, то он будет заперт и через него будет протекать очень малый обратный ток. Подадим теперь прямое напряжение на левый р-п-переход, тогда через него начнёт проходить значительный прямой ток.

Одна из областей триода, например левая, содержит обычно в сотни раз большее количество примеси р-типа, чем количество п-примеси в п-области. Поэтому прямой ток через р-п-переход будет состоять почти исключительно из дырок, движущихся слева направо. Попав в п-область триода, дырки, совершающие тепловое движение, диффундируют по направлению к п-р-переходу, но частично успевают претерпеть рекомбинацию со свободными электронами п-области. Но если п-область узка и свободных электронов в ней не слишком много (не ярко выраженный проводник п-типа), то большинство дырок достигнет второго перехода и, попав в него, переместится его полем в правую р-область. У хороших триодов поток дырок, проникающих в правую р-область, составляет 99% и более от потока, проникающего слева в п-область.

Если при отсутствии напряжения между точками э и б обратный ток в п-р-переходе очень мал, то после появления напряжения на зажимах э и б этот ток почти так же велик, как прямой ток в левом переходе. Таким способом можно управлять силой тока в правом (запертом) п-р-переходе с помощью левого р-п-перехода. Запирая левый переход, мы прекращаем ток через правый переход; открывая левый переход, получаем ток в правом переходе. Изменяя величину прямого напряжения на левом переходе, мы будем изменять тем самым силу тока в правом переходе. На этом и основано применение р-п-р-триода в качестве усилителя.

Перечень рекомендуемой литературы:

Основные источники:

1. Зайцев В.Е. Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок: учеб. пособие для СПО. – М.: Академия, 2009.
2. Морозова Н.Ю. Электротехника и электроника: учеб. для СПО.- М.: Академия, 2010

Дополнительные источники:

1. Глушков Г.Н., Крайцберг М. И. Электропривод и электроснабжение строительных машин и оборудования предприятий строительной индустрии: Учебное пособие – М.: «Стройиздат», 2006. – 288с.
2. Данилов И.А., Иванов П. М. Общая электротехника с основами электроники: Учебник для средних специальных учебных заведений. – М.: «Высшая школа», 2005. – 752с.
3. Зимин Е.Н. Электрооборудование строительных площадок: Учебник для средних специальных учебных заведений. – М.: «Стройиздат», 2006. – 286с.
4. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам: Учеб. пособие для студ. учрежд. сред. проф. образования. - М.: Академия, 2003
5. Константинов В. И. Сборник практических примеров и задач по общей электротехнике – М.: «Высшая школа», 2007. – 227 с.

Учебное издание

Е.Г. Чапурина

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Учебное пособие по изучению дисциплины

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 14.07.2015 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,66. Тираж 100 экз. Изд. № 3105.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ