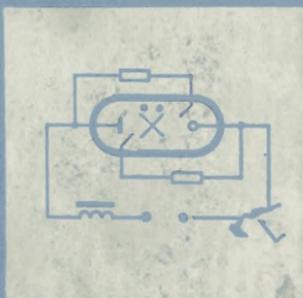




В. В. КИРСАНОВ, В. В. ИВАНОВ

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ  
СЕЛЬСКО-  
ХОЗЯЙСТВЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА



40.7  
К43

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ТЕХНИКУМОВ

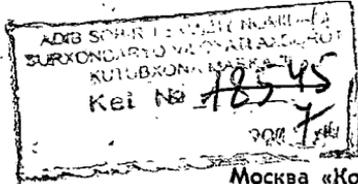
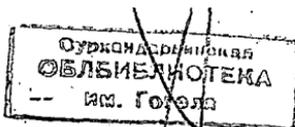
В. В. КИРСАНОВ, В. В. ИВАНОВ

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКО- ХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для учащихся средних сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям и для слушателей техникумов по подготовке руководящих кадров совхозов и колхозов

334564

334564



Москва «Колос» 1980

ББК 40.7  
К43

УДК 631.371:621.311(075.3)

Авторы: инженеры-механики *В. В. Кирсанов* (главы VI, VII, VIII, X—XIII) и *Н. В. Богатырев* (главы I—IV, VI—совместно); кандидат технических наук *В. В. Иванов* (главы IV, V, IX, XIV—XVI).

Рецензенты: кандидат технических наук доцент *В. А. Воробьев* (ТСХА) и *А. И. Рагуля* (Всесоюзный заочный сельскохозяйственный техникум).

Редактор — инженер *Л. М. Рунова*.

**Кирсанов В. В., Иванов В. В.**

**К 43** Электрификация сельскохозяйственного производства. — М.: Колос, 1980. — 256 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для сред. с.-х. учеб. заведений).

В учебном пособии приведены краткие сведения из общей электротехники, рассмотрены основные способы и средства получения, передачи, применения электроэнергии в сельскохозяйственном производстве. Наряду с теоретической частью пособие содержит и материалы для проведения лабораторно-практических занятий.

40205—120  
К 035(01)—80 26—80. 3802040200

ББК 40.7  
631.3

**Кирсанов Виктор Васильевич, Иванов Валерий Владимирович**  
**ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Редактор *Л. М. Рунова*  
Художественный редактор *Н. Ф. Шлезингер*  
Технический редактор *Н. В. Новикова*  
Корректор *С. В. Вишнякова*

**ИБ № 1754**

Сдано в набор 29.10.79. Подписано к печати 28.03.80. Т-05150. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,44. Уч.-изд. л. 13,63. Изд. № 128. Тираж 60 000 (1—25 000) экз. Заказ № 788. Цена 60 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Набрано в Ордена Октябрьской-Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первой Образцовой типографии имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-54, Валовая, 28.

Отпечатано с матриц в типографии им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2. Заказ № 3596.

© Издательство «Колос», 1980

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из важнейших условий устойчивого развития сельскохозяйственного производства является дальнейшее широкое и всестороннее использование электрической энергии в сельском хозяйстве.

Применение электрической энергии резко повышает производительность труда, улучшает культурно-бытовое обслуживание населения, позволяет автоматизировать многие производственные процессы и перейти в ряде случаев к комплексной механизации сельскохозяйственного производства.

В настоящее время электрификация сельского хозяйства осуществляется на более высоком техническом уровне. Строительство крупных государственных электростанций, линий электропередач, энергосистем практически снимает ограничения по присоединению сельскохозяйственных потребителей к государственным энергосетям по объемам потребления электрической энергии и повышает надежность электроснабжения.

Льготный тариф на отпускаемую электроэнергию на нужды сельского хозяйства способствует более широкому применению электроэнергии в самых энергоемких производственных процессах.

Потребление электрической энергии возрастает прежде всего в стационарных технологических процессах — при механизации животноводства, обработке сельскохозяйственной продукции, орошении, в теплично-парниковом хозяйстве, на промышленных подсобных сельскохозяйственных предприятиях, ремонте машин и других работах.

Растениеводы получают мощные автоматизированные зерноочистительно-сушильные установки, сокращающие затраты труда в десять раз.

Большое значение для дальнейшей электромеханизации сельскохозяйственного производства имеет переход к поставкам комплектного электроборудования, которое включает все электроизделия, необходимые для оснащения машины, агрегата или комплекса.

Важными свидетельствами научно-технического прогресса в сельском хозяйстве стали разработка и внедрение электротехнологии в сельскохозяйственное производство.

Исключительные перспективы открывает электротехнология в непосредственной обработке почвы, восстановлении ее плодородия, в кормоприготовлении и во многих других процессах.

Важна роль электрификации сельского хозяйства и в социальном аспекте. Вслед за электричеством в село пришли и стали привычными радио, телевидение, разнообразные электроприборы.

Расширяется сеть культурно-просветительных учреждений — кинотеатров, клубов, библиотек, домов культуры. Планомерная и всесторонняя электрификация способствует превращению сельскохозяйственного труда в разновидность индустриального, улучшению культурно-бытовых условий сельского населения, преодолению социально-экономических различий между городом и деревней.

Качественный и количественный рост энергонасыщенности современного сельского хозяйства предопределяет то обстоятельство, что каждый специалист сельскохозяйственного производства, не имеющий инженерного образования, должен обладать определенной технической эрудицией, ориентироваться в инженерных вопросах.

Данное учебное пособие ставит целью сообщить учащимся сельскохозяйственных техникумов по агрономическим специальностям комплекс необходимых сведений из области электрификации сельскохозяйственного производства.

Глава I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА

## § 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

В природе существует два рода электрических зарядов, условно называемых положительными и отрицательными зарядами. Носителями электрического заряда являются элементарные частицы, входящие в состав атома — электроны и протоны. Электрон обладает минимальным отрицательным электрическим зарядом, а протон — наименьшим положительным. Таким образом, заряды электрона и протона — заряды элементарные, одинаковые по абсолютной величине, неделимые и наименьшие.

Протоны сосредоточены в ядре атома, электроны вращаются вокруг ядра. Кроме того, в состав атомного ядра входят нейтроны, но они заряда не имеют. Хотя атом состоит из заряженных частиц, он представляет собой электрически нейтральную систему. Число электронов в атоме равно числу протонов в ядре, то есть общий отрицательный заряд электронов атома равен общему положительному заряду, и действия их взаимно компенсируются.

Если по какой-либо причине атом потеряет несколько электронов, нейтральность системы нарушится: протонов будет больше, чем электронов. Такой атом, обладающий положительным зарядом, называют *положительным ионом*. При избытке электронов атом будет иметь отрицательный заряд и называться соответственно *отрицательным ионом*. Таким образом, тело электрически заряжено в том случае, если оно содержит избыточное количество элементарных частиц с одним знаком заряда: или электронов, или протонов. Избыток электронов по сравнению с протонами обуславливает отрицательный заряд тела, недостаток электронов, то есть избыток протонов, — положительный заряд.

Электрические заряды взаимодействуют между собой таким образом, что частицы с одноименными зарядами отталкиваются, а частицы с разными знаками заряда притягиваются.

Неподвижные электрические заряды взаимодействуют посредством *электрических полей*, которые их окружают и неразрывно с ними связаны.

Сила взаимодействия между двумя покоящимися точечными зарядами определяется по закону Кулона: два точечных заряда  $Q_1$  и  $Q_2$ , расположенных на расстоянии  $r$  друг от друга, взаимодействуют с силой  $F$ , которая прямо пропорциональна величинам зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль линии, соединяющей эти заряды

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

В системе СИ

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная ( $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$  Ф/м).

Закон Кулона в Международной системе для взаимодействия зарядов в среде с силой  $F$  (Н):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon r^2}. \quad (1)$$

Величину  $\epsilon$  называют относительной диэлектрической проницаемостью среды. Она является величиной безразмерной.

В системе СИ единицей измерения заряда служит кулон (Кл) — не основная единица, а производная  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$ .

## § 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Движущиеся элементарные заряженные частицы неразрывно связаны с окружающим их электромагнитным полем, которое представляет собой один из видов материи. Электромагнитное поле состоит из двух взаимосвязанных составляющих: электрического поля и магнитного поля.

В окружающем неподвижный заряд пространстве всегда существует только электрическое поле, которое выявляется, в частности, силовым воздействием на заряженные частицы или тела, помещенные в поле. Электрическое поле неподвижных зарядов получило название *электростатического*.

Так как электрическое поле оказывает силовое действие на вносимые в него заряженные тела, то оно способно совершить работу. Следовательно, всякое электрическое поле обладает энергией, которую называют электрической.

Электрическое поле характеризуют две основные величины: напряженность и потенциал.

**Напряженность** — силовая характеристика электрического поля. Если в электрическое поле внести частицу с единичным зарядом, то на нее будет действовать сила, по величине которой можно судить об интенсивности электрического поля в данной точке.

Величина, определяемая как сила  $F$  (Н), с которой поле действует на единичный положительный заряд  $Q$  (Кл), помещенный в данной точке, называется напряженностью электрического поля. Таким образом, напряженность, обозначаемая буквой  $E$ , определяется по формуле

$$E = \frac{F}{Q}. \quad (2)$$

В качестве единицы измерения напряженности принят **вольт на метр** (В/м).

Напряженность электрического поля — величина векторная. За направление вектора напряженности принимают направление силы, действующей на положительный заряд в данной точке поля.

Напряженность электрического поля  $E$ , создаваемого изолированным точечным зарядом  $Q$  в какой-либо точке окружающего заряд пространства, вычисляют по формуле

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \quad (3)$$

где  $r$  — расстояние от точки, в которой определяется напряженность, до точки, в которой расположен заряд.

Для определения напряженности в какой-либо точке электрического поля, созданного несколькими зарядами, следует пользоваться принципом независимости действия сил и применять геометрический способ сложения.

**Потенциал** — энергетическая характеристика электрического поля. Для того чтобы пробную частицу, обладающую положительным электрическим зарядом, переместить из-за пределов поля в данную его точку  $A$ , нужно затратить работу по преодолению сил электрического поля. Вследствие этого пробная заряженная частица приобретает определенный запас потенциальной энергии, про-

порциональный напряженности поля в точке  $A$  и значению заряда. Если пробную заряженную частицу, находящуюся в электрическом поле, предоставить самой себе, то она под действием сил поля будет перемещаться в направлении поля за его пределы. На это перемещение тратится энергия поля, равная работе, которая была выполнена сторонними (внешними) силами по перемещению пробной заряженной частицы из-за пределов поля в данную его точку.

Потенциалом данной точки электрического поля называют величину, численно равную работе, которую выполняет поле, перемещая частицу с положительным единичным зарядом из данной точки поля за его пределы.

Потенциал данной точки электрического поля обозначают буквой  $\varphi$  и определяют по формуле

$$\varphi = \frac{W}{Q}, \quad (4)$$

где  $W$  — электрическая потенциальная энергия (Дж) частицы с зарядом  $Q$  (Кл), помещенной в данной точке поля.

Из этой формулы следует, что  $[\varphi] = \frac{[W]}{[Q]} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$ , то есть размерность потенциала — в о л ь т. Потенциалы измеряют также в киловольтах (кВ), милливольты (мВ) и микровольтах (мкВ).

За единицу потенциала 1 В в системе СИ принимают потенциал такой точки электрического поля, в которой заряд 1 Кл обладает потенциальной энергией 1 Дж.

Электрический заряд произвольной величины  $Q$  в поле с потенциалом  $\varphi$  обладает потенциальной энергией

$$W = \varphi Q. \quad (5)$$

Потенциал любой точки электрического поля, созданного зарядом  $Q$ , находят по формуле

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (6)$$

где  $r$  — расстояние от заряда  $Q$  до точки, в которой определяют потенциал.

Разность потенциалов двух точек электрического поля называют э л е к т р и ч е с к и м н а п р я ж е н и е м, обозначают буквой  $U$  и вычисляют по формуле

$$U = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (7)$$

Напряжение между двумя точками электрического поля численно равно работе, затраченной на перемещение единичного заряда из одной точки поля в другую. Электрическое напряжение, как и потенциал, измеряют в вольтах.

### § 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

В электрическом поле свободные заряженные частицы приобретают упорядоченное движение вдоль линий напряженности поля: положительные — по направлению поля, а отрицательные — в обратную сторону.

Направленное движение свободных заряженных частиц под действием электрического поля называется **электрическим током**.

Электрический ток в металлических проводниках представляет собой упорядоченное движение электронов. Отличительной особенностью металлов по сравнению с другими твердыми телами (полупроводниками, диэлектриками) является то, что их кристаллическая решетка наполнена свободными электронами, которые можно рассматривать как «электронный газ». Если к концам такого проводника приложить напряжение, то электроны начнут передвигаться от отрицательного полюса к положительному. Таким образом, ток в металлах образуется свободными электронами, поэтому их проводимость называют электронной.

Электрический ток в электролитах представляет собой упорядоченное движение ионов. В жидких электролитах, к которым относятся водные растворы солей, кислот и щелочей, всегда имеются положительные и отрицательные ионы. Если погрузить в электролит две металлические пластины и создать между ними разность потенциалов, то положительно заряженные ионы будут перемещаться в направлении поля, то есть от пластины с большим потенциалом к пластине с меньшим потенциалом, а отрицательные ионы — в противоположном направлении. Следовательно, в жидких электролитах ток образуется ионами, поэтому проводимость такого типа называется ионной.

За положительное направление электрического тока условно принято направление, в котором перемещаются положительные ионы, то есть противоположное движению электронов и отрицательных ионов.

Интенсивность электрического тока характеризуется физической величиной, которая называется силой электрического тока (или просто током).

Сила тока численно равна количеству электричества  $Q$ , проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени.

Электрический ток, сила и направление которого не изменяются с течением времени, называют *постоянным*. Если за время  $t$  через поперечное сечение проводника переместилось количество электричества  $Q$ , то сила тока

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (8)$$

Единица измерения силы тока в системе СИ — а м п е р (А).

Сила тока равна 1 А, если через поперечное сечение проводника за 1 с переместилось количество электричества 1 Кл, то есть  $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с}$ .

Плотностью тока называют отношение силы тока  $I$  к площади поперечного сечения  $S$  проводника, по которому этот ток протекает

$$\delta = \frac{I}{S}. \quad (9)$$

Единица плотности тока  $[\delta] = \text{А/мм}^2$ .

Электрический ток обладает различными действиями, которые широко используют в практике.

Ток нагревает проводники, по которым проходит. При этом энергия электрического тока превращается в тепловую энергию. Тепловое действие тока используют во многих установках сельскохозяйственного назначения (электроподогреватели, электрокалориферы и т. д.).

Вокруг проводника с током всегда образуется магнитное поле (магнитное действие тока). Это свойство используют в электромагнитах.

Примером химического действия тока может служить явление электролиза, которое возникает, когда ток проходит через электролиты. При этом на электродах выделяются химические составные части электролита. Электролиз лежит в основе гальванотехники.

#### § 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Основными элементами электрической цепи являются источники э. д. с., приемники энергии, или потребители, и провода для передачи электрической энергии.

Принято различать внешнюю и внутреннюю часть электрической цепи. Приемники электрической энергии и соеди-

нительные провода составляют ее *внешнюю часть*, а источники электрической энергии (источники питания) — *внутреннюю часть*.

На рисунке 1 дано изображение простейшей электрической цепи, то есть ее электрическая схема.

В качестве источников электрической энергии применяют электрические (электромашинные) генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую; первичные элементы и аккумуляторы, преобразующие химическую энергию в электрическую, и т. п.

К приемникам электрической энергии относят электрические двигатели, нагревательные приборы, облучатели. В приемниках электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии: механическую в электрических двигателях, тепловую в нагревательных приборах, лучистую в облучательных и осветительных установках.

Электрические провода являются звеном, связывающим источники и приемники. В электрические цепи могут входить приборы контроля и управления, а также преобразующие устройства (трансформаторы, выпрямители и др.).

Электрические цепи подразделяют на неразветвленные и разветвленные. Разветвленные цепи содержат несколько параллельных ветвей.

В зависимости от того, для какого тока предназначена электрическая цепь, ее называют соответственно: «электрическая цепь постоянного тока», «электрическая цепь переменного тока».

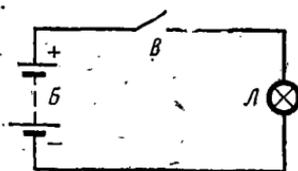


Рис. 1. Схема простейшей электрической цепи:

Б — источник электрической энергии (батарея); Л — потребитель электрической энергии (лампа накаливания); В — выключатель.

## § 5. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

Поддержание постоянного тока в проводнике требует неизменной разности потенциалов на его концах. Если это условие не выполняется, электрическое поле в проводнике исчезнет, так как положительные заряды будут перемещаться в сторону уменьшения потенциала; а отрицательные в сторону его возрастания, в результате чего потенциалы различных участков проводника выравниваются, и электрический ток прекратится.

Следовательно, для поддержания постоянного тока в цепи необходим какой-то источник электрической энергии, в котором происходят процессы разделения разноименных зарядов и перемещения их в источнике против сил электрического поля от отрицательного полюса к положительному, а также образование избыточных зарядов и связанного с ними поля на полюсах источника. Эти процессы происходят под действием сил неэлектрического происхождения, называемых сторонними силами. Природа сторонних сил может быть самой разнообразной. В зависимости от вида сторонних сил различают химические, механические, атомные и другие источники электрической энергии.

Таким образом, внутри источника заряды движутся под действием сторонних сил против электрического поля, а во внешней части цепи их приводит в движение электрическое поле.

Действие сторонних сил характеризуется физической величиной, называемой электродвижущей силой (сокращенно э. д. с.). Электродвижущая сила  $E$  — это величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда внутри источника (от отрицательного полюса к положительному)

$$E = \frac{A}{Q} \quad (10)$$

Единица измерения э. д. с. — вольт (В).

## § 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ПРОВОДИМОСТЬ

Разные вещества неодинаково проводят электрический ток, поскольку в различной мере противодействуют движению электрических зарядов. Это противодействие характеризуется величиной, которую называют электрическим сопротивлением и обозначают буквой  $r$ .

Сущность явления сопротивления металлических проводников протеканию электрического тока заключается в том, что носители тока — электроны проводимости — при своем движении испытывают соударения с ионами кристаллической решетки проводника, которые тормозят их поступательное движение.

Единица измерения сопротивления — ом (Ом). Это сопротивление проводника, в котором протекает ток силой в 1 А при напряжении 1 В.

Электрическое сопротивление проводника зависит от его материала, длины, поперечного сечения и температуры.

Многочисленными опытами установлено, что сопротивление проводника  $r$  прямо пропорционально его длине  $l$  (м) и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$  (мм<sup>2</sup>):

$$r = \frac{\rho l}{S} \quad (11)$$

Удельным сопротивлением называют сопротивление проводника длиной 1 м и поперечным сечением 1 мм<sup>2</sup> и обозначают буквой  $\rho$ . Оно характеризует электрическое сопротивление материала, из которого изготовлен проводник.

Единицей удельного сопротивления в системе единиц СИ является 1 Ом·м.

Для металлов удельное сопротивление мало. Наличие примесей увеличивает  $\rho$ , поэтому в тех случаях, когда требуется большое сопротивление проводника, применяют сплавы. Диэлектрики обладают очень большим удельным сопротивлением.

Таблица 1. Удельные сопротивления некоторых материалов

Материал	Удельное сопротивление при 20°C, Ом·м	Материал	Удельное сопротивление при 20°C, Ом·м
Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$110 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,8 \cdot 10^{-8}$	Кремний	$10^3$
Латунь	$7 \cdot 10^{-8}$	Фарфор	$10^{13}$

Удельное сопротивление проводника, а значит, и его сопротивление, зависит от температуры, так как при нагревании интенсивность теплового движения ионов кристаллической решетки изменяется и число столкновений электронов с ионами увеличивается.

Зависимость удельного сопротивления от температуры определяется следующей формулой:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (12)$$

где  $\rho_0$  — удельное сопротивление при температуре 0°C, Ом·м;

$\rho$  — удельное сопротивление при нагревании до температуры  $t$ , Ом·м;

$\alpha$  — термический коэффициент сопротивления ( $\text{град}^{-1}$ ), показывающий относительное приращение удельного сопротивления проводника при нагревании на  $1^\circ\text{C}$ , положительный для металлов и отрицательный для угля, растворов и расплавов солей и кислот.

Таким образом, с повышением температуры сопротивление металлических проводников увеличивается, а сопротивление электролитов и графита уменьшается. У некоторых специальных сплавов оно почти не зависит от температуры (например, манганин).

Величину, обратную сопротивлению, называют электрической проводимостью и обозначают буквой  $g$ . Таким образом, проводимость

$$g = \frac{1}{r}. \quad (13)$$

Единица измерения проводимости —  $1/\text{Ом}$ , или сименс (См).

## § 7. ЗАКОН ОМА

Немецкий физик Георг Ом установил для металлов зависимость силы тока от напряжения и сопротивления, которая получила название **закон Ома**.

Закон Ома для участка однородной цепи формулируется следующим образом: *сила тока  $I$  (А) на участке цепи (не включающем источников тока) прямо пропорциональна напряжению  $U$  (В) на данном участке и обратно пропорциональна его сопротивлению  $r$  (Ом):*

$$I = \frac{U}{r}. \quad (14)$$

Закон Ома для полной цепи (рис. 2) выражается так: *сила тока  $I$  (А) в замкнутой цепи (включающей источник тока) прямо пропорциональна электродвижущей силе источника  $E$  и обратно пропорциональна сопротивлению всей цепи:*

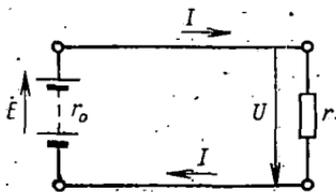


Рис. 2. Электрическая цепь.

$$I = \frac{E}{r + r_0}, \quad (15)$$

где  $r$  — сопротивление внешнего участка цепи, Ом;  
 $r_0$  — сопротивление внутреннего участка цепи (источника), Ом.

Закон Ома широко применяют для расчета электрических цепей.

## § 8. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛОЙ И НАПРЯЖЕНИЕМ ГЕНЕРАТОРА

Электродвижущую силу источника можно определить из формулы (15):

$$E = Ir + Ir_0. \quad (16)$$

Произведение тока и сопротивления участка цепи принято называть падением напряжения на этом участке или просто напряжением.

Первое слагаемое правой части формулы (16)  $Ir$  представляет собой падение напряжения во внешней цепи, или напряжение  $U$  на зажимах источника; второе  $Ir_0$  — падение напряжения  $U_0$  внутри источника. Поэтому выражение (16) можно записать так:

$$E = U + U_0, \quad (17)$$

то есть электродвижущая сила источника равна сумме падений напряжений на внешнем и внутреннем участках цепи. Согласно (17), э. д. с. источника больше напряжения на его зажимах на величину падения напряжения внутри самого источника, или

$$U = E - U_0. \quad (18)$$

Следовательно, напряжение на зажимах источника равно его э. д. с. за вычетом падения напряжения внутри самого источника.

Представив уравнение (18) в виде

$$U = E - Ir_0, \quad (19)$$

нетрудно сделать вывод о том, что напряжение на зажимах источника при изменении тока нагрузки не остается постоянным, а тоже изменяется: чем больше ток нагрузки, тем меньше напряжение на зажимах источника (и наоборот). Зависимость  $U(I)$  называют *внешней характеристикой источника электрической энергии*; по ней можно судить о взаимосвязи напряжения на зажимах источника и тока нагрузки.

Рассмотрим два характерных режима работы источника: холостой ход, когда цепь разомкнута ( $r = \infty$ ) и ток нагрузки  $I = 0$ , и короткое замыкание, когда сопротивление внешнего участка цепи равно нулю ( $r = 0$ ).

В режиме холостого хода  $U = E - 0 \cdot r$ , или  $U = E$ . Следовательно, при разомкнутой цепи напряжение на зажимах источника электрической энергии равно его электродвижущей силе.

В режиме короткого замыкания ток  $I = \frac{E}{0 + r_0} = \frac{E}{r_0}$  достигает максимального значения, во много раз больше допустимого, и называется *током короткого замыкания*.

Поскольку при коротком замыкании напряжение на внешнем участке цепи равно нулю ( $U = Ir = I \cdot 0 = 0$ ), то  $E = U + U_0 = U_0$ , то есть э. д. с. равна внутреннему падению напряжения.

Короткое замыкание — явление **крайне опасное**. Ток короткого замыкания, зачастую в десятки раз превышающий допустимый, может вызвать сильный нагрев проводов, обмоток электрических машин, разрушение изоляции и как следствие пожар. Кроме того; большие электродинамические усилия, возникающие при коротком замыкании, приводят иногда к серьезным механическим повреждениям отдельных частей установки.

Причиной короткого замыкания может быть случайное соединение голых (неизолированных) токоведущих частей разного потенциала между собой (например, непосредственное соприкосновение двух проводов воздушной линии).

## § 9. РАБОТА И МОЩНОСТЬ

Из определения э. д. с. следует, что **р а б о т а**, затраченная сторонними силами на перемещение электрического заряда  $Q$  в источнике,

$$A = EQ = EIt. \quad (19)$$

По закону сохранения энергии электрическая энергия, выработанная источником за время  $t$ , за то же время преобразуется в другие виды энергии во внешней цепи в приемниках.

Если напряжение на зажимах источника  $U$ , то электрическая энергия, преобразованная во внешней цепи:

$$W = UQ = UIt. \quad (20)$$

Так как э. д. с. источника  $E=U_0+U$ , то  $A=(U_0+U)It=U_0It+UIt$ .

Таким образом, работа (энергия), выработанная в источнике, расходуется на двух участках цепи. Часть энергии теряется внутри самого источника  $A_0=U_0It$ , а другая передается приемнику:

$$A=UIt.$$

Единица измерения работы (энергии) — джоуль (Дж);  
 $1 \text{ Дж} = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$ .

Более крупными единицами энергии являются: 1 киловатт-час ( $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ ) и 1 мегаватт-час ( $1 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 10^6 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ ).

Мощностью называется отношение работы  $A$  к времени  $t$ , в течение которого она выполнена:

$$P = \frac{A}{t}. \quad (21)$$

Мощность источника электрической энергии

$$P_{\text{и}} = \frac{EIt}{t} = EI. \quad (22)$$

Мощность приемника электрической энергии

$$P_{\text{п}} = \frac{U_{\text{п}}It}{t} = U_{\text{п}}I. \quad (23)$$

Мощность потерь внутри источника

$$P_0 = U_0I. \quad (24)$$

Мощность источника электрической энергии равна сумме мощностей приемников и мощности потерь в генераторе (источнике):

$$P_{\text{и}} = P_{\text{п}} + P_0. \quad (25)$$

Мощность измеряется в ваттах (Вт);  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$ , то есть мощность равна одному ватту, если за одну секунду совершается работа в один джоуль.

Кратные единицы мощности:  $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$  и мегаватт  $1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}$ .

Мощность приемника, характеризующая скорость преобразования в приемнике электрической энергии в другой вид энергии, является полезной мощностью.



Отношение мощности приемника  $P_{\text{п}}$  к мощности источника  $P_{\text{и}}$  называется электрическим коэффициентом полезного действия (к. п. д.)  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{и}}} \quad (26)$$

Коэффициент полезного действия — безразмерная величина, характеризующая степень совершенства электрической установки в отношении преобразования энергии из одной формы в другую. К. п. д. показывает, какая часть подводимой к генератору мощности полезно используется во внешней цепи генератора.

## § 10. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ

Электрический ток, проходя по проводнику, нагревает его вследствие столкновения электронов с ионами кристаллической решетки проводника. При столкновении кинетическая энергия движущихся электронов передается ионам кристаллической решетки, это и вызывает нагревание проводника.

Количество тепла  $Q$ , выделяемое током в проводнике

$$Q = I^2 r t. \quad (27)$$

Приведенная зависимость носит название закона Джоуля — Ленца. Формулируется этот закон так:

*Количество тепла  $Q$  (Дж), выделяемого током в проводнике, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока.*

Преобразование электрической энергии в тепловую имеет большое практическое значение и широко используется в нагревательных установках (электроводонагреватели, электрокалориферы, электродпечи и т. п.). Однако в электрических машинах, проводах, соединяющих источник электрической энергии с приемниками, преобразование электрической энергии в тепловую является потерей энергии. Тепловые потери в электрических машинах и аппаратах снижают их к. п. д.

## § 11. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ПО УСЛОВИЯМ НАГРЕВА

Температура нагрева проводов под действием проходящего по ним тока зависит от материала и площади поперечного сечения проводов, условий их изоляции, силы тока,

внешних условий. С повышением температуры проводов увеличивается и передача тепла ими в окружающую среду. При некоторой температуре наступает *тепловое равновесие*, когда количество тепла, выделяемого током в проводе, равно количеству тепла, отдаваемого проводом в окружающую среду. В этом случае температура провода не изменяется.

Ток, при котором температура провода достигает определенных, регламентируемых нормами, значений, называют *допустимым током провода*. При проектировании электрических линий выбирают такие сечения проводов, чтобы их температура не превышала допустимых значений. Минимальное для данной силы тока сечение провода определяют по таблицам допустимых токовых нагрузок на провода и кабели. Эти таблицы приведены в электротехнических справочниках и в «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ).

## § 12. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ПО ЗАДАННОЙ ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Электрическая энергия от источника к потребителю передается по проводам. При прохождении тока в проводах возникает падение напряжения

$$\Delta U = Ir = I \frac{\rho 2l}{S}, \quad (28)$$

где  $2l$  — общая длина прямого и обратного провода, м;  
 $\rho$  — удельное сопротивление проводника, Ом·м;  
 $S$  — сечение проводов, м<sup>2</sup>.

Поэтому напряжение  $U_1$  у источника будет больше напряжения  $U_2$  у потребителя на величину  $\Delta U$ , которая, таким образом, равна разности напряжений в начале и конце линии

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (29)$$

и называется *потерей напряжения*.

Приемники электрической энергии рассчитаны на определенное, так называемое номинальное напряжение  $U_n$ . Если отклонение подаваемого на зажимы приемника напряжения от номинального превышает допустимое значение, нарушается их нормальная работа. Допустимое значение отклонения напряжения зависит от типа приемника (например, для ламп накаливания от +2,5 до -5%, а для электродвигателей +7,5% от номинального).

При всех прочих равных условиях отклонение напряжения на зажимах приемника будет тем меньше, чем больше сечение проводов.

Задачей расчета является определение такого сечения проводов, при котором отклонение напряжения на зажимах приемника будет находиться в допустимых пределах.

При расчете обычно задаются потерей напряжения  $\Delta U$  и по формуле (28) вычисляют необходимое сечение проводов линии:

$$S = I \frac{\rho 2l}{\Delta U}. \quad (30)$$

Найденное по заданной потере напряжения сечение проводов должно быть проверено по условиям нагрева.

### § 13. СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Потребители электрической энергии могут быть соединены между собой последовательно, параллельно и смешанно.

**Последовательное соединение** образуют резисторы, к концу первого из которых присоединено начало второго, к концу второго — начало третьего и т. д. (рис. 3).

При таком способе соединения через все резисторы вместе и каждое в отдельности течет один и тот же ток:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n. \quad (31)$$

Общее сопротивление последовательно соединенных резисторов равно их сумме:

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n. \quad (32)$$

Падение напряжения на первом резисторе  $U_1 = Ir_1$ , на втором  $U_2 = Ir_2$ , на третьем  $U_3 = Ir_3$ , на некотором  $n$ -м  $U_n = Ir_n$ .

Сумма падений напряжения на последовательно соединенных резисторах равна напряжению на зажимах источника тока

$$U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = U. \quad (33)$$

По закону Ома сила тока в цепи

$$I = \frac{U}{r},$$

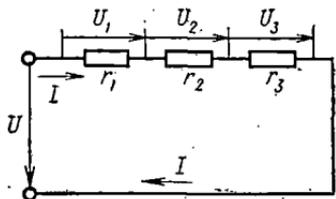


Рис. 3. Последовательное соединение резисторов.

где  $U$  — напряжение на зажимах источника тока, В;  
 $r$  — общее сопротивление цепи, Ом;

Параллельное соединение составляют резисторы, начала которых сведены в одну точку, а концы — в другую (рис. 4).

Параллельно соединенные резисторы образуют ветви (разветвления). Ток в общей точке распределяется по отдельным ветвям. Через меньший резистор течет больший ток, а через больший — меньший. С увеличением числа ветвей результирующее значение сопротивления уменьшается.

При параллельном соединении потребителей напряжения на них равны между собой:

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U. \quad (34)$$

Сила тока в каждой из ветвей

$$I_1 = \frac{U}{r_1}; \quad I_2 = \frac{U}{r_2}; \quad \dots \quad I_n = \frac{U}{r_n}. \quad (35)$$

Из приведенных выражений следует, что  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}$  или в общем виде

$$\frac{I_n}{I_m} = \frac{r_m}{r_n}, \quad (36)$$

то есть токи в ветвях распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям.

Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме токов в параллельных ветвях

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n. \quad (37)$$

Учитывая последние соотношения и равенства, получим формулу для расчета общего (эквивалентного) сопротивления при параллельном соединении потребителей:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}, \quad (38)$$

где  $r$  — общее сопротивление разветвления;

$\frac{1}{r}$  — общая проводимость разветвления;

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  — сопротивления ветвей;

$\frac{1}{r_1}, \frac{1}{r_2}, \frac{1}{r_3}, \dots, \frac{1}{r_n}$  — проводимости отдельных ветвей.

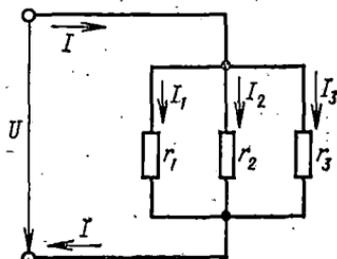


Рис. 4. Параллельное соединение резисторов.

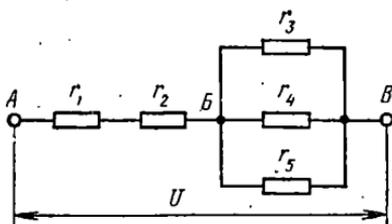


Рис. 5. Смешанное соединение резисторов.

тивление

$$r = \frac{1}{g} \quad (40)$$

**Смешанное соединение** образуется, если одни резисторы в цепи соединены последовательно, а другие параллельно (рис. 5).

При расчете цепей со смешанным соединением приемников пользуются правилами и соотношениями, ранее полученными для последовательного и параллельного соединений. Цепь разбивают на отдельные участки, состоящие из последовательно и параллельно соединенных потребителей, и определяют эквивалентные сопротивления для каждого из участков, а затем и для всей цепи в целом.

#### § 14. ЗАКОНЫ КИРХГОФА

Для расчета сложных электрических цепей применяют различные методы, которые основаны на двух законах (правилах) Кирхгофа.

При формулировке законов Кирхгофа пользуются понятиями «узел», «ветвь» и «контур» электрической цепи.

**У з л о м** электрической цепи называют точку, в которой соединяются три или большее число проводов или ветвей; **в е т в ь ю** — отдельный участок цепи, расположенный между двумя узлами; **к о н т у р о м** — любую замкнутую группу последовательно соединенных между собой ветвей.

**Первый закон Кирхгофа.** Сумма токов, приходящих к узлу цепи, равна сумме токов, уходящих от этого узла.

Например, на рисунке 6 к узлу A приходят токи \$I\_1\$ и \$I\_2\$, а уходят токи \$I\_3\$ и \$I\_4\$, значит,

откуда

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= I_3 + I_4, \\ I_1 + I_2 - I_3 - I_4 &= 0, \end{aligned}$$

При параллельном соединении общая проводимость разветвления равна сумме проводимостей ветвей

$$g = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n \quad (39)$$

Если известна общая проводимость разветвления, то вообще (эквивалентное) сопротивление

или, в общем виде,

$$\Sigma I = 0. \quad (41)$$

Таким образом, алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю.

При составлении уравнений приходящие к узлу токи пишут со знаком плюс, а уходящие от него — со знаком минус (или наоборот):

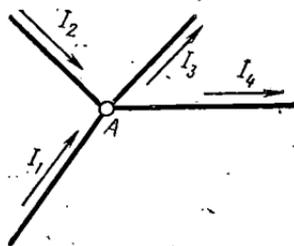


Рис. 6. Узел электрической цепи.

Используя первый закон Кирхгофа и закон Ома, можно рассчитать общую силу тока параллельно соединенных приемников, общую проводимость и общее сопротивление цепи.

**Второй закон Кирхгофа.** В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма э. д. с. источников энергии равна сумме напряжений на всех пассивных элементах (сопротивлениях) этого контура, в том числе на внутренних сопротивлениях источников:

$$\Sigma E = \Sigma (Ir). \quad (42)$$

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа вначале задают (произвольно) направления токов в ветвях и обозначают их на схеме; а затем выбирают положительные направления обхода контура (обычно по часовой стрелке). Э. д. с. записывают со знаком плюс, если ее направление совпадает с направлением обхода контура (то есть если при обходе после зажима источника «минус» следует зажим источника «плюс»), и со знаком минус в противном случае.

Напряжения на сопротивлениях данного контура берут со знаком плюс, если направление обхода совпадает с выбранным направлением тока, и со знаком минус в противном случае.

**Применение законов Кирхгофа.** Если в электрической цепи известны все э. д. с. и сопротивления, то можно, основываясь на законах Кирхгофа, определить токи во всех ветвях.

Для нахождения токов требуется столько расчетных уравнений, сколько в цепи неизвестных токов (по числу ветвей).

По первому закону Кирхгофа составляем столько уравнений, сколько в цепи имеется узлов за вычетом одного; по

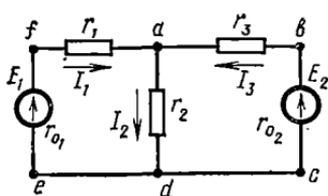


Рис. 7. Схема электрической цепи.

второму закону Кирхгофа составляем дополнительные независимые уравнения. При этом каждый новый контур, для которого составляется уравнение по второму закону Кирхгофа, должен содержать не менее одной ветви, не входящей в ранее составленные уравнения.

Решая полученную систему уравнений, определяем неизвестные токи.

**Пример.** Для электрической схемы, представленной на рисунке 7, найти токи в ветвях и потребляемую мощность, если известны э. д. с. источников  $E_1$  и  $E_2$ , их внутренние сопротивления  $r_{01}$  и  $r_{02}$  и сопротивления элементов  $r_1, r_2, r_3$  цепи.

**Решение.** Цепь, подлежащая расчету, содержит  $m=3$  ветвей и  $n=2$  узлов. Так как по каждой ветви проходит свой ток, то число неизвестных токов равно числу ветвей, и для определения токов необходимо составить  $m$  уравнений.

Обозначим токи во всех ветвях, произвольно выбрав их положительные направления, указанные стрелками.

Составим по первому закону Кирхгофа уравнения для  $n-1$  узлов, то есть в данном случае одно уравнение для узла  $a$ :

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0.$$

Недостающие уравнения в количестве  $m - (n-1) = 3 - (2-1) = 2$  получим по второму закону Кирхгофа, для чего выбираем в схеме два взаимно независимых контура  $adef$  и  $abcd$ .

Положительные направления обхода принимаем по движению часовой стрелки. Тогда

для контура  $adef$ :  $E_1 = I_1(r_{01} + r_1) + I_2 r_2$ , а для контура  $abcd$ :  $E_2 = I_3(r_{02} + r_3) + I_2 r_2$ .

В результате получилась система из трех уравнений, решая которую и подставляя значения сопротивления и э. д. с., получим числовые значения токов.

Если после решения уравнений какой-либо из токов окажется отрицательным, значит, этот ток в действительности имеет направление, противоположное выбранному и показанному на схеме.

## § 15. СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Химические источники электрической энергии (гальванические элементы, аккумуляторы) для совместной работы можно соединять последовательно, параллельно или смешанно.

Группа соединенных между собой тем или другим способом источников образует батарею. В батарее объединяют

только однородные источники, имеющие одинаковые э. д. с. и внутренние сопротивления.

**Последовательное соединение** источников электрической энергии применяют в тех случаях, когда напряжение потребителя превышает э. д. с. одного источника, а номинальный ток потребителя не превышает нормальный разрядный ток источника:

Чтобы соединить источники в батарею последовательно, нужно отрицательный полюс первого источника соединить с положительным полюсом второго, отрицательный полюс второго — с положительным полюсом третьего и т. д. Внешнюю цепь подключают к положительному полюсу первого источника и отрицательному полюсу последнего, то есть к оставшимся свободным полюсам батареи. В этом случае э. д. с. источников направлены в одну сторону.

Э. д. с. всей батареи при последовательном соединении источников равна их сумме:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_k. \quad (43)$$

С учетом того, что в батареи соединяют только однородные источники,

$$E = nE_k, \quad (44)$$

где  $n$  — число источников, соединенных в батарею;

$E_k$  — э. д. с. одного из источников, включенных в батарею.

Внутреннее сопротивление батареи равно сумме внутренних сопротивлений отдельных источников:

$$r = r_{0_1} + r_{0_2} + \dots + r_{0_k}, \quad (45)$$

или

$$r_0 = nr_{0_k}, \quad (46)$$

где  $r_{0_k}$  — внутреннее сопротивление одного из источников, включенных в батарею.

Емкость батареи при последовательном соединении однородных источников равна емкости одного источника. Следует заметить, что емкостью аккумулятора принято называть количество электричества, выраженное в ампер-часах (А·ч), которое может отдать в цепь полностью заряженный аккумулятор при разряде номинальным током до установленного конечного напряжения.

При последовательном соединении источников электрической энергии с одинаковыми э. д. с. и внутренними со-

противлениями сила тока в цепи определится по формуле

$$I = \frac{nE_k}{nr_{0k} + r}, \quad (47)$$

где  $r$  — сопротивление внешней цепи.

Число источников в батарее, необходимых для получения заданного напряжения  $U$  во внешней части цепи,

$$n = \frac{U}{E_k - Ir_{0k}}. \quad (48)$$

**Параллельное соединение** источников электрической энергии применяют в тех случаях, когда ток потребителя больше номинального разрядного тока одного источника, а напряжение потребителя равно э. д. с. одного источника.

Чтобы источники электрической энергии соединить в батарею параллельно, нужно их положительные полюсы объединить в один узел, а отрицательные — в другой.

При параллельном соединении э. д. с. батареи равна э. д. с. одного источника:

$$E = E_k.$$

Внутреннее сопротивление батареи

$$r_v = \frac{r_{0k}}{n} \quad (49)$$

уменьшается во столько раз, сколько источников с сопротивлением  $r_{0k}$  каждый включено в нее.

Емкость батареи равна сумме емкостей параллельно соединенных источников.

В случае параллельного соединения источников электрической энергии с одинаковыми э. д. с. и внутренними сопротивлениями сила тока в цепи определится по формуле:

$$I = \frac{E}{\frac{r_{0k}}{n} + r}, \quad (50)$$

где  $r$  — сопротивление внешней цепи.

Число источников  $n$  в батарее, необходимых для получения заданной силы тока во внешней цепи,

$$n = \frac{I}{I_p}, \quad (51)$$

где  $I_p$  — разрядный ток одного источника.

**Смешанное соединение** источников электрической энергии применяют в том случае, когда напряжение и ток потребителя больше напряжения и разрядного тока одного источника.

Ток в цепи определяют, разбивая источники на равные группы, в которых они соединены последовательно, а затем на ветви, где они между собой соединены параллельно:

$$I = \frac{n_{\Gamma} E}{\frac{n_{\Gamma} r_{0k}}{m} + r}, \quad (52)$$

где  $n_{\Gamma}$  — число источников, соединенных в группу;  
 $m$  — число параллельных ветвей.

Число последовательно соединенных источников  $n_{\Gamma}$  в группе и число параллельных ветвей  $m$  находят по ранее приведенным формулам.

**Пример.** Две параллельные группы аккумуляторов, по три последовательно включенных аккумулятора в каждой, работают на внешнюю цепь сопротивлением 3,55 Ома. Э. д. с. аккумулятора 2 В, внутреннее сопротивление 0,003 Ома. Определить напряжение батареи, силу тока и мощность, отдаваемую батареей во внешнюю цепь.

**Решение.** Э. д. с. группы

$$E_{\Gamma} = n_{\Gamma} E_k = 3 \cdot 2 = 6 \text{ В.}$$

Э. д. с.  $E_6$  всей батареи будет равна э. д. с.  $E_{\Gamma}$  одной последовательно соединенной группы, то есть  $E_6 = E_{\Gamma} = 6 \text{ В.}$

Сила тока во внешней цепи

$$I = \frac{n_{\Gamma} E_k}{\frac{n_{\Gamma} r_{0k}}{m} + r} = \frac{3 \cdot 2}{\frac{3 \cdot 0,003}{2} + 3,55} = 1,6 \text{ А.}$$

Напряжение во внешней цепи  $U = Ir = 1,6 \cdot 3,55 \approx 5,7 \text{ В.}$

Мощность, отдаваемая батареей во внешнюю цепь,

$$P = UI = 5,7 \cdot 1,6 \approx 9,12 \text{ Вт.}$$

## Лабораторная работа 1

**Простейшие цепи постоянного тока**

**Цель работы.** Научиться включать в цепь постоянного тока амперметр и вольтметр и определять по этим приборам силу тока, напряжение и мощность, потребляемую приемником.

**Оборудование и приборы.** 1) Амперметр щитовой постоянного тока на 3А. 2) Вольтметр щитовой постоянного тока на 150 В. 3) Две лампы накаливания (с патронами) напряжением 127 В и мощностью 100 Вт. 4) Соединительные провода. 5) Источник постоянного тока напряжением 130 В.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для проведения работы. Выписать паспортные данные.

2. Начертить две схемы включения приборов и ламп: одна схема с параллельным включением ламп, другая — с последовательным.

3. Собрать схему с параллельным включением ламп. Включить схему в сеть, записать показания приборов и вычислить мощность.

4. Собрать схему с последовательным включением ламп. Включить схему в сеть, записать показания приборов и вычислить мощность.

5. Сравнить полученные данные при определении мощности по первой и второй схемам.

6. Составить отчет о работе.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое электрический заряд и какова единица его измерения?

2. Как и в соответствии с каким законом взаимодействуют электрические заряды между собой?

3. Что называют напряженностью электрического поля и как определить ее значение в точке пространства?

4. Что понимают под потенциалом электрического поля и в каких единицах его измеряют?

5. Что называют электрическим напряжением и э. д. с. и какой единицей их измеряют?

6. Что такое сила тока и какова единица ее измерения? Что называют плотностью тока?

7. Что понимают под электрическим сопротивлением? Какая единица принята для его измерения?

8. Как определить сопротивление проводника, если известны его материал, длина и сечение?

9. Расскажите об электрической проводимости и единице ее измерения.

10. Сформулируйте закон Ома для участка цепи и полной цепи.

11. Какова зависимость между электродвижущей силой и напряжением источника энергии?

12. От каких факторов зависит напряжение на зажимах генератора при неизменной его э. д. с.?

13. Объясните сущность режимов холостого хода и короткого замыкания источника.

14. Напишите формулу работы электрического тока. В каких единицах измеряется работа электрического тока?

15. Что называют электрической мощностью и какова единица ее измерения?

16. Сформулируйте закон Джоуля — Ленца и напишите его формулу.

17. Объясните, как выбирают сечение проводов по условиям нагрева.

18. Объясните порядок расчета сечений проводов по заданной потере напряжения.

19. Расскажите о последовательном, параллельном и смешанном соединениях сопротивлений и химических источников электроэнергии.

20. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа, изложите методы расчета электрических цепей с их применением.

## Глава II. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### § 1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКА

Магнитное поле возникает при движении любых электрически заряженных частиц. Оно всегда существует вокруг проводников с токами. Магнитное поле также порождается изменением напряженности электрического поля.

Магнитное поле с определенной силой действует на движущиеся электрические заряды, и в частности на проводники с током. Силы взаимодействия магнитного поля с движущимися электрически заряженными частицами или с проводниками, по которым проходит ток, называются *электромагнитными*.

Интенсивность магнитного поля в каждой его точке характеризуется *магнитной индукцией*, которую принято обозначать символом  $B$ .

Магнитная индукция представляет собой силовую характеристику магнитного поля в соответствующей точке. Численно она равна механической силе, действующей на 1 м прямолинейного проводника с током в 1 А, расположенного так, что эта сила максимальна.

Единицей измерения магнитной индукции служит *тесла* (сокращенно Т).

Магнитная индукция — величина векторная.

Графически магнитное поле изображают при помощи линий магнитной индукции.

*Линией магнитной индукции* (магнитной линией) называют линию, касательная к которой в любой точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции.

Магнитные линии используют не только для указания направления магнитного поля, но и для характеристики его интенсивности. Чем больше индукция (интенсивность магнитного поля), тем чаще проводят эти линии.

Магнитные линии прямолинейного проводника с током представляют собой концентрические окружности, центры которых расположены на оси проводника. Направление магнитных линий вокруг проводника с током определяют по мнемоническому *правилу буравчика*. Если представить себе, что буравчик ввинчивают в проводник по направлению тока, то направление вращения его рукоятки и магнитных линий совпадут (рис. 8).

Направление магнитного поля катушки (рис. 9) также находят по правилу буравчика. Если вращать рукоятку



Рис. 8. Правило буравчика.

буравчика в направлении тока в витках катушки, то поступательное движение буравчика укажет направление линий магнитной индукции (направление поля).

Магнитная индукция  $B$  (Т) в точках, расположенных на расстоянии  $r$  (м) от оси бесконечно длинного прямолинейного проводника с током  $I$  (А), определится по формуле

$$B = \mu_a \frac{I}{2\pi r}, \quad (53)$$

где  $\mu_a$  — абсолютная магнитная проницаемость (характеристика магнитных свойств среды).

Магнитная индукция на осевой линии в центре цилиндрической катушки с током (рис. 9), длина которой намного больше ее диаметра ( $l \gg d$ ), определится по формуле

$$B = \mu_a \frac{I\omega}{l}, \quad (54)$$

где  $\omega$  — число витков катушки.

Если внутрь катушки с током поместить железный сердечник, то интенсивность магнитного поля резко возрастет. Это объясняется тем, что железо в магнитном поле намагничивается и результирующее магнитное поле усиливается.

Вещества, которые, оказавшись в магнитном поле, резко усиливают его, называют ферромагнитными.

Катушка, внутрь которой введен железный сердечник, представляет собой простейший *электромагнит*.

Произведение силы тока на число витков катушки ( $I\omega$ ) называют *магнитодвижущей силой*. Единица

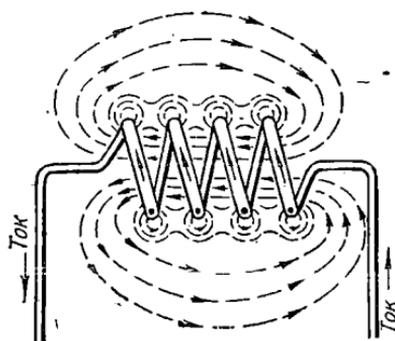


Рис. 9. Магнитное поле цилиндрической катушки.

измерения магнитодвижущей силы — ампер-витки (А·в).

Произведение магнитной индукции  $B$  и площади  $S$ , перпендикулярной к вектору магнитной индукции, называют магнитным потоком через эту площадь и обозначают символом  $\Phi$ :

$$\Phi = BS. \quad (55)$$

Единица измерения магнитного потока в е б е р (сокращенно Вб).

Магнитное поле, во всех точках которого векторы магнитной индукции равны по величине и параллельны друг другу, называют *однородным*.

Установлено, что магнитное поле, созданное одним и тем же током, при прочих равных условиях, различно по интенсивности в различных средах.

Разные вещества (среды) обладают различными магнитными свойствами.

Абсолютная магнитная проницаемость  $\mu_a$  — это величина, характеризующая магнитные свойства среды.

Единица измерения абсолютной магнитной проницаемости — г е н р и н а м е т р, или сокращенно Г/м (о единице индуктивности генри см. в § 6 этой главы).

Абсолютную магнитную проницаемость пустоты (вакуума) принято называть магнитной постоянной:  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  Г/м.

Отношение, показывающее, во сколько раз абсолютная магнитная проницаемость данной среды больше (меньше) магнитной постоянной, называется *относительной магнитной проницаемостью* или просто *магнитной проницаемостью*:

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}. \quad (56)$$

Магнитная проницаемость — величина безразмерная.

Вещества (среды), у которых относительная магнитная проницаемость меньше единицы, называют *диамагнитными*. К ним относятся вода, водород, кварц, серебро, медь и др. В этих средах магнитное поле слабее, чем в вакууме.

Вещества (среды), у которых относительная магнитная проницаемость немного больше единицы, называют *парамагнитными*. К ним относятся алюминий, платина, кислород,

ко за счет увеличения напряженности внешнего поля.

Поскольку графическая зависимость  $B$  от  $H$  — не прямая линия, значит, отношение  $B/H = \mu_a$  непостоянно, то есть магнитная проницаемость ферромагнитного материала не является постоянной величиной, а зависит от напряженности намагничивающего поля.

### § 3. МАГНИТНЫЙ ГИСТЕРЕЗИС

Рассмотрим физические процессы, происходящие при циклическом перемагничивании ферромагнитного материала. Для этой цели стержень из ферромагнитного материала поместим внутрь катушки и будем пропускать по ней ток.

С увеличением тока в катушке в соответствии с выражением

$$H = \frac{Iw}{l} \quad (58)$$

возрастает напряженность намагничивающего поля, а также усиливается магнитная индукция  $B$  в сердечнике.

На рисунке 11 представлен график, отражающий зависимость магнитной индукции в сердечнике от напряженности намагничивающего поля.

Если первоначально сердечник не был намагничен и тока в витках катушки нет, то  $H=0$  и  $B=0$  (начало координат). При постепенном увеличении тока и, следовательно, напряженности намагничивающего поля магнитная индукция возрастает в соответствии с кривой  $Oa$  первоначального намагничивания.

Если после того, как наступило магнитное насыщение (точка  $a$ ), уменьшать ток и напряженность поля, то снижается и магнитная индукция. Однако ее уменьшение при размагничивании будет происходить с запаздыванием по отношению к напряженности  $H$ , то есть при соответствующих уменьшенных значениях напряженности  $H$  магнитная индукция  $B$  будет несколько больше, чем при намагничивании. Кривая  $abc$  размагничивания не совпадает с кривой  $aO$  первоначального намагничивания. При напряженности, равной нулю, магнитная индукция не равна нулю,

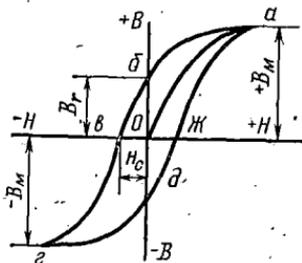


Рис. 11. Петля гистерезиса.

а имеет некоторое значение  $B_r$ , получившее название *остаточной магнитной индукции* или *остаточного магнетизма* (отрезок  $Ob$ ).

На использовании явления остаточного магнетизма основано действие всех постоянных магнитов, которые изготовляют из материалов, обладающих большим остаточным магнетизмом (специальные сорта твердых сталей — вольфрамовой, хромистой, кобальтовой и др.).

Небольшой остаточный магнетизм отличает техническое железо, низкоуглеродистые стали, железоникелевые сплавы. Из этих материалов, способных легко перемагничиваться, делают сердечники электромагнитов, трансформаторов и т. п.

Для того чтобы полностью размагнитить сердечник, необходимо изменить направление намагничивающего поля и намагничивать сердечник в обратном направлении, то есть перемагничивать его, изменяя направление тока в катушке и постепенно увеличивая его силу. При некотором значении напряженности поля сердечник полностью размагнитится.

Значение  $H_c$  напряженности поля обратного направления, при котором произойдет полное размагнивание сердечника, называют *коэрцитивной* (задерживающей) *силой*.

При дальнейшем увеличении напряженности обратного поля магнитная индукция возрастет и достигнет максимального значения в точке  $g$ , соответствующей магнитному насыщению. Затем с уменьшением напряженности поля до нуля магнитная индукция снижается и становится равной, но противоположно направленной остаточной индукции  $B_r$  (отрезок  $Od$ ). Наконец, при следующем изменении направления напряженности поля и ее увеличении магнитная индукция сначала уменьшается до нуля, а затем увеличивается, пока не наступит насыщение. Полученная замкнутая кривая, выражающая зависимость  $B=f(H)$ , называется *петлей гистерезиса*.

В процессе перемагничивания изменения магнитной индукции в сердечнике отстают от соответствующих изменений напряженности намагничивающего поля. Это явление получило название *магнитного гистерезиса*.

Циклическое перемагничивание ферромагнетиков связано с затратами электрической энергии, которая, превращаясь в тепло, нагревает материал. Площадь петли гистерезиса пропорциональна потерям энергии при одном цикле перемагничивания. Энергию, расходуемую на циклическое перемагничивание, называют *потерями на гистерезис*.

Мощность потерь на циклическое перемагничивание зависит от материала, частоты перемагничивания и максимальной магнитной индукции.

#### § 4. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ И ДВИЖУЩИЙСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Опытным путем было установлено, что на проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует электромагнитная сила  $F$  (Н):

$$F = BIl \sin \alpha, \quad (59)$$

где  $B$  — магнитная индукция поля, Т;  
 $I$  — сила тока в проводнике, А;  
 $l$  — активная длина проводника, м;  
 $\alpha$  — угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции поля.

Направление силы, действующей на проводник с током, определяют по так называемому правилу левой руки:

если поставить ладонь так (рис. 12), чтобы магнитные линии входили в нее и четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы, действующей на проводник с током.

Эта сила перпендикулярна как вектору магнитной индукции, так и току.

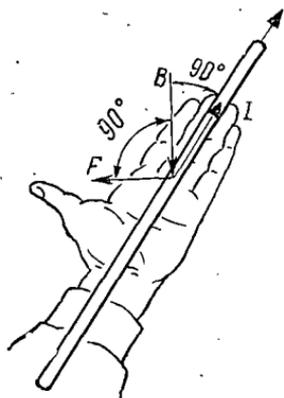


Рис. 12. Правило левой руки,

На электрический заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила  $F$  (Н), называемая силой Лоренца:

$$F = qvB \sin \alpha, \quad (60)$$

где  $q$  — значение электрического заряда, Кл;  
 $v$  — скорость движения заряда, м/с;  
 $B$  — магнитная индукция поля, Т;  
 $\alpha$  — угол между направлениями скорости заряда и вектором магнитной индукции поля.

Направление силы Лоренца определяют также по правилу левой руки; сила перпендикулярна направлению движения заряда и магнитным линиям поля.

## § 5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

На основании экспериментов был сформулирован закон электромагнитной индукции: при движении прямолинейного проводника в магнитном поле в нем индуцируется э. д. с., значение которой  $e$  (В) пропорционально магнитной индукции, активной длине проводника и нормальной (к полю) составляющей скорости его движения, то есть

$$e = Blv \sin \alpha, \quad (61)$$

где  $B$  — магнитная индукция, Т;

$v$  — скорость движения проводника, м/с;

$l$  — активная длина проводника (часть проводника, находящаяся в магнитном поле), м;

$\alpha$  — угол между векторами скорости и магнитной индукции поля.

Направление индуцированной э. д. с. в прямолинейном проводнике определяют по мнемоническому правилу правой руки: если расположить ладонь правой руки (рис. 13) навстречу магнитным линиям так, чтобы отставленный большой палец указывал направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца покажут направление индуцированной э. д. с.

Закон электромагнитной индукции имеет и другую формулировку: в замкнутом контуре индуцируется э. д. с. при всяком изменении магнитного потока, охватываемого этим контуром.

Индуктированная э. д. с. в контуре численно равна скорости изменения магнитного потока, охватываемого этим контуром:

$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (62)$$

Эта формула дает среднее значение э. д. с. за время  $\Delta t$ . Значение индуцированной э. д. с. зависит не от абсолютного значения магнитного потока, а от скорости его изменения. Если контур состоит из  $w$

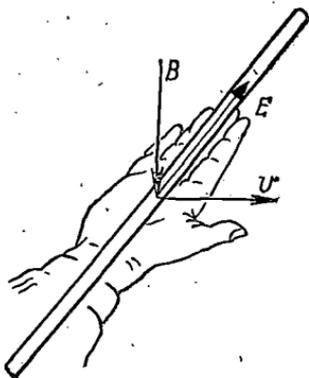


Рис. 13. Правило правой руки.

витков и все витки пронизываются одним и тем же магнитным потоком, то индуктированная в контуре (катушка) э. д. с.

$$e = -w \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (63)$$

Когда витки пронизываются различными по величине магнитными потоками, то индуктированная во всей катушке э. д. с. равна сумме э. д. с., индуктированных в отдельных витках катушки:

$$e_k = - \left( \frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t} + \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} + \dots + \frac{\Delta \Phi_w}{\Delta t} \right). \quad (64)$$

Сумму магнитных потоков отдельных витков катушки называют потокосцеплением:

$$\psi = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_w. \quad (65)$$

Единица измерения потокосцепления, как и магнитного потока, — в е б е р.

Используя понятие потокосцепления, закон электромагнитной индукции можно сформулировать так: *индуктированная в контуре э. д. с. равна скорости изменения потокосцепления*, то есть

$$e_k = - \frac{\Delta \psi}{\Delta t}. \quad (66)$$

Направление индуктированной э. д. с. для всех случаев ее возникновения определяется правилом Ленца: *индуктированная э. д. с. имеет такое направление, при котором созданный ею ток противодействует причине, вызвавшей возникновение э. д. с.*

Явление электромагнитной индукции положено в основу действия разнообразных электрических машин и аппаратов.

## § 6. САМОИНДУКЦИЯ И ВЗАИМОИНДУКЦИЯ

Мы уже отмечали, что магнитное поле окружает проводник с электрическим током. Ток может течь только в замкнутом контуре, а созданное током магнитное поле пронизывает этот контур. Если ток в контуре изменяется, то изменяется и созданный им магнитный поток. При этом по закону электромагнитной индукции в проводнике индуктируется э. д. с. Поскольку она возникает вследствие изменения тока в самом проводнике, то это явление названо *самоиндукцией*, а индуктируемая в проводнике э. д. с. названа *э. д. с. самоиндукции*.

Магнитный поток, а следовательно, и потокоцепление зависят не только от силы тока в проводнике, но и от формы и размеров этого проводника, а также от магнитной проницаемости окружающей его среды. Между потокоцеплением и током существует следующая зависимость:

$$\Psi = LI, \quad (67)$$

где  $L$  — коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности  $L$  называют и н д у к т и в н о с т ь ю п р о в о д н и к а. Он характеризует свойство проводника образовывать потокоцепление при прохождении по нему тока. Это один из основных параметров электрических цепей.

Для заданной цепи индуктивность — величина постоянная. Она зависит от геометрических размеров контура, его конфигурации и магнитной проницаемости окружающей среды, но не зависит ни от тока в контуре, ни от магнитного потока.

Индуктивность проводника численно равна магнитному потоку, который создается током силой 1 А, протекающим по проводнику.

Единицей измерения индуктивности является г е н р и (Г):

$$1 \text{ Г} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ А}} = \frac{1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с}}{1 \text{ А}} = 1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ с}.$$

Таким образом, 1 Г — это индуктивность проводника, в котором ток силой 1 А возбуждает магнитный поток 1 Вб.

Э. д. с. самоиндукции определяют по формуле

$$e_L = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (68)$$

Так как

$$\Delta \Phi = L \Delta i,$$

то

$$e_L = - L \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (69)$$

где  $\frac{\Delta i}{\Delta t}$  — скорость изменения тока в проводнике.

На основании последней формулы можно дать другое определение единицы индуктивности: 1 Г — это индуктивность проводника, в котором изменение силы тока на 1 А за 1 с возбуждает э. д. с. самоиндукции, равную 1 В.

Электрический ток, обтекающий контур, возбуждает магнитное поле, распространяющееся в пространстве и

пронизывающее контуры других электрических цепей. Таким образом, два или несколько контуров, расположенных достаточно близко, даже в том случае, когда они электрически не связаны, воздействуют друг на друга через магнитное поле. При изменении тока в одном из контуров в других индуцируются э. д. с. Это явление получило название явления в з а и м о и н д у к ц и и, а индуцируемая э. д. с. — соответственно э. д. с. в з а и м о и н д у к ц и и.

Э. д. с. взаимной индукции  $e_2$ , индуцируемую во втором контуре при изменении тока  $i_1$  в первом контуре, определяют по формуле

$$e_2 = -M \frac{\Delta i_1}{\Delta t}, \quad (70)$$

где  $M$  — коэффициент пропорциональности, называемый взаимной индуктивностью.

Взаимная индуктивность  $M$  измеряется в тех же единицах, что и индуктивность  $L$ , то есть в г е н р и (Г).

Явление взаимной индукции широко используют в различных электротехнических устройствах, например, оно является одним из основных принципов для построения трансформаторов.

## § 7. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Рассмотрим принцип электрического генератора. На рисунке 14 показан прямолинейный проводник, который расположен в однородном магнитном поле и замкнут на сопротивление  $r$ . Если под действием внешней механической силы  $F_M$  передвигать этот проводник перпендикулярно магнитным линиям поля, то в нем будет индуцироваться э. д. с.  $E = Blv$  и в цепи возникнет ток  $I$ , совпадающий по направлению с э. д. с.  $E$ .

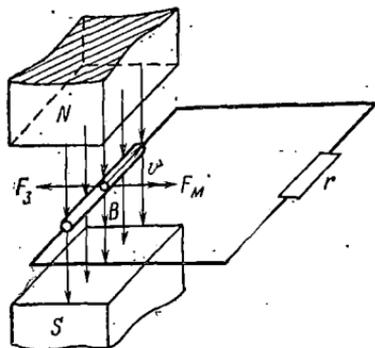


Рис. 14. Принцип работы электрического генератора.

На проводник с током в магнитном поле будет действовать электромагнитная сила  $F_3 = BI l$ , которая направлена против внешней механической силы  $F_M$  (в этом легко убедиться, применив правило ле-

На проводник с током в магнитном поле будет действовать электромагнитная сила  $F_3 = BI l$ , которая направлена против внешней механической силы  $F_M$  (в этом легко убедиться, применив правило ле-

вой руки). Следовательно, внешняя механическая сила  $F_m$  является в данном случае движущей, а  $F_э$  — тормозной.

Чтобы движение провода в магнитном поле было равномерным, необходима внешняя механическая сила, равная по величине тормозной и направленная противоположно:

$$F_m = F_э = BIl. \quad (71)$$

Подставляя в формулу механической мощности движения проводника  $P_m = F_m v$  выражение (71) для силы  $F_m$ , получим

$$P_m = BIlv. \quad (72)$$

Но поскольку

$$Blv = E,$$

то

$$P_m = EI = P. \quad (73)$$

Это значит, что механическая мощность первичного двигателя равна электрической мощности цепи.

Движущийся в магнитном поле под действием внешней механической силы проводник представляет собой простейший электрический генератор, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую.

## § 8. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ

На прямолинейный проводник (рис. 15), расположенный в магнитном поле между полюсами  $N$  и  $S$  перпендикулярно магнитным линиям и присоединенный к источнику питания (по проводнику проходит ток), действует электромагнитная сила

$$F = BIl, \quad (74)$$

направление которой определяется правилом левой руки.

Под действием электромагнитной силы  $F$  проводник движется в магнитном поле со скоростью  $v$ , пересекая магнитные линии поля, в нем индуцируется э. д. с. Поскольку направление э. д. с. противоположно направлению тока  $I$  (в чем легко убедиться, применяя правило правой руки), эту э. д. с. индукции называют противо-э. д. с.

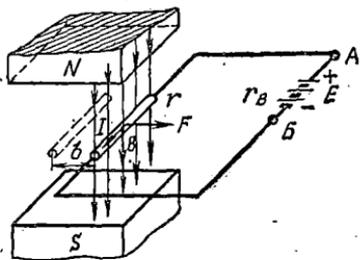


Рис. 15. Принцип работы электродвигателя,

Значение возникшей противо-э. д. с.

$$E_{\text{н}} = Blv. \quad (75)$$

Согласно второму закону Кирхгофа, для замкнутого контура справедливо равенство

$$E - E_{\text{н}} = Ir_{\text{в}} + Ir,$$

или

$$E = E_{\text{н}} + Ir_{\text{в}} + Ir.$$

Так как напряжение на зажимах источника

$$U_{AB} = E - Ir_{\text{в}},$$

то с учетом приведенных уравнений найдем, что

$$U_{AB} = E_{\text{н}} + Ir.$$

Умножая почленно это выражение на  $I$ , получим

$$U_{AB}I = E_{\text{н}}I + I^2r.$$

Так как

$$E_{\text{н}} = Blv, \text{ то } U_{AB}I = BlvI + I^2r.$$

Учитывая, что

$$BlI = F, Fv = P_{\text{м}} \text{ и } U_{AB}I = P,$$

найдем общее выражение мощности

$$P = Fv + I^2r, \quad (76)$$

в котором величина  $Fv$  представляет собой механическую мощность, а  $I^2r$  — мощность тепловых потерь.

Формула (76) показывает, что при движении проводника с током в магнитном поле под действием сил этого поля происходит преобразование электрической энергии в механическую, и частично в тепловую.

Так как машины, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую, называются электродвигателями, то, следовательно, проводник в магнитном поле, питаемый током от постороннего источника, можно считать простейшим вариантом электрического двигателя.

## § 9. ВИХРЕВЫЕ ТОКИ

Рассмотрим явления, происходящие при циклическом перемагничивании цилиндрического стального сердечника, помещенного внутрь катушки. Проходящий по катушке изменяющийся ток создает в сердечнике переменный магнитный

поток, который направлен вдоль оси сердечника. Согласно закону электромагнитной индукции, изменяющийся магнитный поток, охватываемый любым контуром, будет индуцировать э. д. с. в этом контуре.

В рассматриваемом случае изменяющийся магнитный поток пронизывает любое поперечное сечение сердечника, которое можно считать состоящим из колец разного диаметра, вставленных одно в другое. Каждое кольцо представляет собой замкнутый контур, пронизываемый изменяющимся магнитным потоком. Следовательно, в каждом кольце будет индуцироваться э. д. с. и возникнет ток. Этот ток называется вихревым током.

Вихревые токи всегда возникают в массивных металлических телах, находящихся в переменном магнитном поле или также перемещающихся (вращающихся) в магнитном поле.

Вихревые токи расположены в плоскости, перпендикулярной вектору магнитной индукции. Их направление определяют правилом Ленца.

Магнитное поле вихревых токов препятствует изменению намагничивающего поля обмотки, усиливая явление гистерезиса.

Вихревые токи, возникающие в металлических частях электрических машин, трансформаторов и т. п., как и всякие электрические токи, вызывают нагрев металла, а в электрических машинах, кроме того, создают дополнительный тормозящий момент, что связано с непроизводительными расходами энергии и снижением коэффициента полезного действия электрических машин и аппаратов. Эти потери энергии принято называть *потерями от вихревых токов*.

Для уменьшения потерь от вихревых токов магнитопроводы электрических машин и аппаратов, подвергающихся перемагничиванию, изготовляют не сплошными, а из изолированных друг от друга тонких (0,35...0,5 мм) листов стали, обладающей большим электрическим сопротивлением.

Однако потери от вихревых токов не всегда непроизводительны. В специальных высокочастотных установках, например для плавления стали, их используют для плавки, нагрева, закалки и других целей.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое магнитное поле и какими величинами оно характеризуется? Каковы единицы измерения этих величин?
2. Сформулируйте и примените на практике правило буравчика.

3. Напишите формулу для определения магнитной индукции на осевой линии в центре цилиндрической катушки с током.
4. Какое магнитное поле называют однородным?
5. Что характеризует магнитная проницаемость?
6. Расскажите о свойствах ферромагнитных веществ и назовите широко распространенные в электротехнике ферромагнитные материалы.
7. Какова связь между напряженностью магнитного поля и магнитной индукцией?
8. Объясните кривую намагничивания ферромагнитного материала.
9. Что такое остаточная магнитная индукция, коэрцитивная сила, магнитный гистерезис?
10. Как определить значение и направление силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле?
11. Какую силу называют силой Лоренца и как найти ее значение и направление?
12. В чем сущность явления электромагнитной индукции?
13. Как определить направление э. д. с., индуцированной в проводнике?
14. Расскажите о явлениях самоиндукции и взаимной индукции.
15. Объясните принцип работы электрического генератора.
16. Объясните принцип работы электрического двигателя.
17. Какие токи называют вихревыми и какие потери они вызывают?

## Глава III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### § 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Ток, периодически изменяющийся с течением времени по величине и направлению, называется *переменным*. В производстве и быту используют переменный ток, изменяющийся по синусоидальному закону.

Переменный синусоидальный ток можно получить, если равномерно вращать металлическую рамку в однородном магнитном поле (рис. 16).

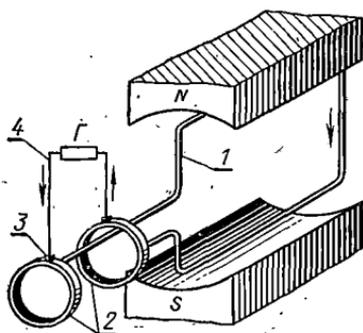


Рис. 16. Принцип работы однофазного генератора переменного тока.

Между полюсами *N* и *S* магнита расположена рамка *1*, концы которой припаяны к медным изолированным кольцам *2*. На кольца наложены щетки *3*, соединенные с внешней цепью *4*. При равномерном вращении рамки в однородном магнитном поле в каждой активной стороне ее будет индуцироваться э. д. с.

$$e = Blv \sin \alpha.$$

Когда плоскость рамки перпендикулярна направлению магнитного поля, э. д. с. равна нулю, а когда совпадает с направлением магнитного поля, э. д. с. имеет максимальное значение. В остальных положениях рамки э. д. с. принимает промежуточные значения и изменяется по синусоидальному закону. За каждый полуоборот рамки направление э. д. с. меняется в ней.

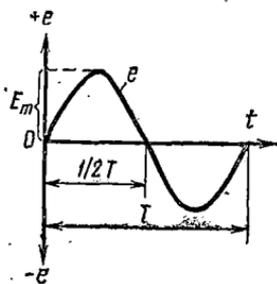


Рис. 17. График синусоидальной э. д. с.

На рисунке 17 показан график синусоидальной э. д. с. Здесь ординаты синусоиды в выбранном масштабе представляют мгновенные значения э. д. с., а абсциссы — промежутки времени, отсчитываемые от некоторого начального момента.

Таким образом, рамка, равномерно вращающаяся в однородном магнитном поле, представляет собой простейший генератор однофазного переменного синусоидального тока.

Синусоидально изменяющиеся величины характеризуются следующими основными параметрами: период, частота, амплитуда, начальная фаза, фаза или сдвиг фаз.

**Период (T)** — время (с), в течение которого переменная величина совершает полное колебание.

Совокупность всех изменений переменной величины, происходящих в течение периода, называется **циклом**.

**Частота f** — число полных колебаний переменной величины за 1 с. Единицей измерения частоты является **герц (Гц)**. Один герц равен одному колебанию в секунду.

Период и частота связаны зависимостью

$$T = \frac{1}{f}.$$

В СССР частота промышленного переменного тока принята равной 50 Гц.

Изменяясь с течением времени, синусоидальная величина (ток, напряжение, э. д. с.) принимает различные значения. Значение синусоидальной величины в данный момент времени называют **мгновенным**.

**Амплитуда** — наибольшее мгновенное значение синусоидальной величины.

Амплитуды тока, напряжения и э. д. с. обозначают прописными буквами с индексом:  $I_M$ ,  $U_M$ ,  $E_M$ , а их мгновенные значения — строчными буквами  $i$ ,  $u$ ,  $e$ .

Зависимость между мгновенными и амплитудными значениями величин выражается следующими формулами:

$$i = I_M \sin \omega t; \quad u = U_M \sin \omega t; \quad e = E_M \sin \omega t,$$

где  $\omega$  — угловая частота изменения синусоидальной величины, рад·с<sup>-1</sup>;

$t$  — время, с.

Фаза — угол, определяющий значение синусоидальной величины в данный момент времени.

Мгновенное значение синусоидальной величины (напряжения, тока) определяют по формуле

$$i = I_M \sin(\omega t + \Psi), \quad (77)$$

где  $\omega t + \Psi$  — фаза;

$\Psi$  — начальная фаза, то есть угол, определяющий значение величины в начальный момент времени.

Если две синусоидальные величины имеют одинаковую частоту, но разные начальные фазы, то в этом случае говорят, что они *сдвинуты по фазе*. Разница начальных фаз  $\Psi_1 - \Psi_2$  определяет угол сдвига фаз. На рисунке 18, а приведены графики синусоидальных величин (тока и напряжения), сдвинутых по фазе. Когда же начальные фазы двух величин равны ( $\Psi_1 = \Psi_2$ ), то разница  $\Psi_1 - \Psi_2 = 0$  и, значит, сдвига фаз нет (рис. 18, б).

При протекании переменного тока в неподвижном проводнике происходит преобразование электрической энергии в тепловую. Эффективность действия переменного тока при этом оценивается так называемым действующим его значением.

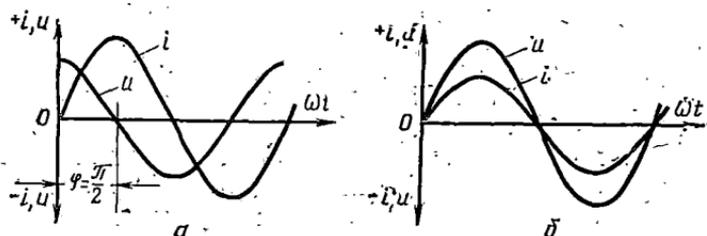


Рис. 18. Графики синусоидальных тока и напряжения:

а — не совпадающих по фазе; б — совпадающих по фазе.

Действующее значение переменного тока равно такому эквивалентному постоянному току, который за время, равное одному периоду, выделяет на том же сопротивлении такое же количество тепла, что и переменный ток.

Действующие значения обозначают прописными буквами без индекса:  $I$ ,  $U$ ,  $E$ .

Для синусоидальных величин действующие и амплитудные значения связаны соотношениями

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}. \quad (78)$$

Амперметры и вольтметры переменного тока измеряют действующие значения тока и напряжения, а ваттметры — среднее значение мощности.

Электрическая угловая скорость или угловая частота. На рисунке 16 показан принцип работы однофазного генератора переменного тока с одной парой полюсов ( $p=1$ ). У такого генератора одному обороту якоря (рамки)  $\alpha=2\pi$  соответствует один период изменения э. д. с. При равномерном вращении якоря (рамки) угловая скорость

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \quad (79)$$

У генератора с двумя парами полюсов ( $p=2$ ) за один оборот якоря (рамки) э. д. с. изменяет направление четыре раза, так как за один оборот каждый активный проводник якоря (рамки) пройдет под двумя парами полюсов. Следовательно, одному обороту якоря (рамки) соответствует  $p$  периодов переменного тока.

Произведение  $p\alpha$  называется электрическим углом, а отношение электрического угла ко времени его изменения — электрической угловой скоростью или угловой частотой:

$$\omega = \frac{p\alpha}{t} = \frac{p2\pi}{pT} = 2\pi f.$$

У двухполюсного генератора ( $p=1$ ) частота э. д. с. (или тока) равна числу полных оборотов якоря (рамки) в секунду.

У многополюсного генератора, имеющего  $p$  пар полюсов, частота э. д. с. (или тока) больше числа полных оборотов якоря (рамки) в  $p$  раз.

## § 2. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВЕЛИЧИН

В отличие от способа изображения синусоидально изменяющихся величин — тока, напряжения, э. д. с. (синусоиды в прямоугольной системе координат), показанного в § 1, для решения практических задач пользуются векторным способом как более наглядным и дающим возможность упростить расчет цепей синусоидального тока.

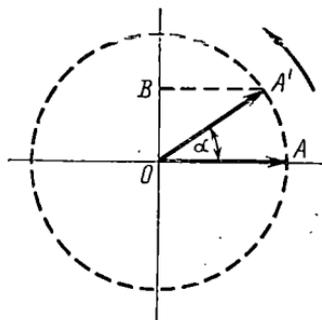


Рис. 19. Вращение вектора вокруг оси.

Суть этого способа заключается в том, что синусоидально изменяющиеся электрические величины изображают при помощи вращающихся векторов. Если радиус-вектор  $OA$  (рис. 19), длина которого в определенном масштабе равна амплитуде переменной величины, вращать с постоянной скоростью вокруг точки  $O$  против часовой стрелки, то конец вектора будет описывать окружность и за один период совершит полный оборот. Таким образом, за один период  $T$  вектор повернется на угол  $2\pi$  рад, следовательно, угловая скорость или угловая частота

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f.$$

При вращении радиуса-вектора против часовой стрелки со скоростью  $\omega$  проекция вектора на вертикальную ось изменяется по синусоидальному закону, как и мгновенное

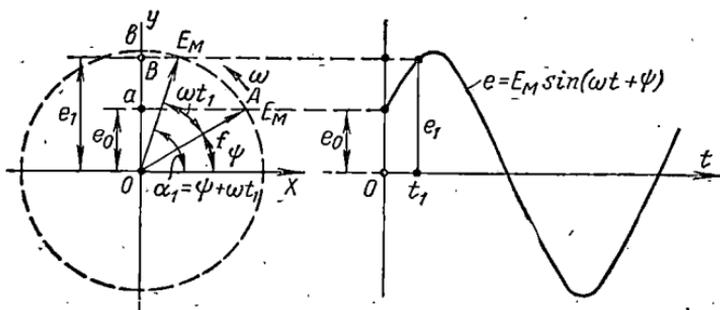


Рис. 20. Векторная диаграмма синусоидально изменяющейся э. д. с. и ее график.

значение синусоидальной величины. Таким образом, проекция вращающегося радиуса-вектора на вертикальную ось в любой момент времени равна мгновенному значению синусоидально изменяющейся величины.

На рисунке 20 приведены векторная диаграмма синусоидально изменяющейся э. д. с. и ее график. В рассматриваемом случае э. д. с. в каждый данный момент времени определяется уравнением

$$e = E_M \sin(\omega t + \psi).$$

На диаграмме вращающийся вектор  $OA$  в выбранном масштабе представляет амплитуду  $E_M$ ; угол  $\psi$  — начальную фазу, то есть угол, определяющий значение э. д. с. в начальный момент времени ( $t=0$ ); угол  $\omega t + \psi$  — фазу, то есть угол, определяющий значение э. д. с. в данный момент времени  $t_1$ .

Проекция вектора на ось ординат в каждый данный момент времени представляет мгновенное значение э. д. с.  $e$ . Действительно, в начальный момент времени при  $t=0$  э. д. с.  $e_0 = E_M \sin(\omega \cdot 0 + \psi) = E_M \sin \psi$  проекция вектора  $OA$  на ось ординат выразится этой же величиной  $Ob = OA \sin \psi = E_M \sin \psi = e_0$ . В момент времени  $t_1$  э. д. с.  $e_1 = E_M \sin(\omega t_1 + \psi)$  вектор займет положение  $OB$ , его проекция на ось ординат  $Ob = OB \sin(\omega t_1 + \psi) = E_M \sin(\omega t_1 + \psi) = e_1$ , то есть проекция вектора на ось ординат опять-таки выражает значение э. д. с. в момент времени  $t_1$ .

Совокупность нескольких векторов, изображающих синусоидально изменяющиеся величины одинаковой частоты в начальный момент времени, называют векторной диаграммой. Например, токи  $i_1 = I_{M_1} \sin(\omega t + \psi_1)$  и  $i_2 = I_{M_2} \sin(\omega t + \psi_2)$  представлены на векторной диаграмме (рис. 21) двумя векторами  $I_{M_1}$  и  $I_{M_2}$ .

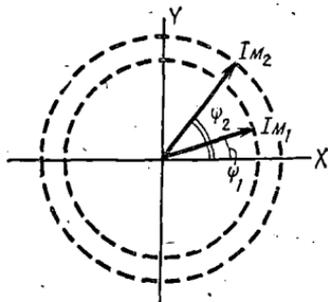


Рис. 21. Векторная диаграмма токов.

### § 3. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Цепь переменного тока, которая изображена на рисунке 22, состоит из активного сопротивления  $r$ , соединительных проводов и источника с синусоидально изменяющимся

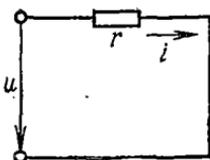


Рис. 22. Цепь с активным сопротивлением.

напряжением:

$$u = U_M \sin \omega t. \quad (80)$$

По закону Ома мгновенное значение тока

$$i = \frac{u}{r} = \frac{U_M \sin \omega t}{r} = I_M \sin \omega t, \quad (81)$$

где  $I_M = \frac{U_M}{r}$  — амплитуда тока в цепи.

Разделив амплитудное значение тока  $I_M$  на  $\sqrt{2}$ , получим

$$\frac{I_M}{\sqrt{2}} = \frac{U_M}{\sqrt{2}r}$$

или

$$I = \frac{U}{r}. \quad (82)$$

Следовательно, действующее значение  $I$  в цепи с одним активным сопротивлением равно действующему значению напряжения  $U$  на зажимах источника, деленному на сопротивление  $r$  цепи. Значит, выражение закона Ома для цепи переменного тока, содержащей только активное сопротивление, выглядит так же, как и для цепи постоянного тока.

Сравнение выражений (80) и (81) показывает, что напряжение и ток имеют одинаковую начальную фазу, то есть ток совпадает по фазе с приложенным напряжением (угол сдвига фаз равен нулю).

На рисунке 23 приведены векторная диаграмма тока и напряжения для цепи с активным сопротивлением и их графики.

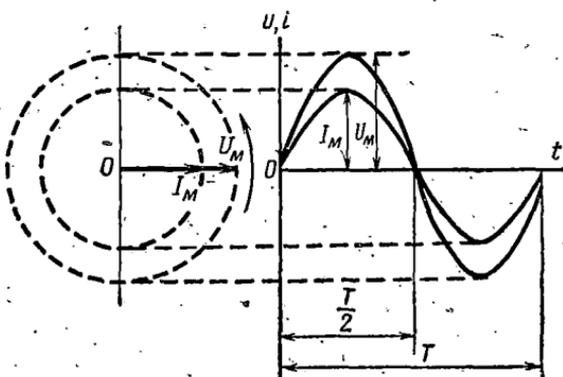


Рис. 23. Векторная диаграмма и графики изменения  $u$  и  $i$  для цепи с активным сопротивлением,

Мгновенная мощность в цепи с одним активным сопротивлением определяется как произведение мгновенных значений тока и напряжения:

$$p = ui = U_m \sin \omega t I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t. \quad (83)$$

Из полученного выражения видно, что мгновенная мощность в цепи с одним активным сопротивлением в течение всего периода положительна. Это означает, что электрическая энергия всегда поступает от источника к потребителю, где и преобразуется в другие виды энергии.

График мгновенной мощности (рис. 24) показывает, что поступление энергии от генератора к потребителю носит равномерный, а импульсный характер; частота импульсов энергии в два раза больше частоты приложенного напряжения.

Средняя за период мощность цепи с активным сопротивлением равна произведению действующих значений напряжения и тока:

$$P = UI. \quad (84)$$

#### § 4. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИНДУКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Цепь, изображенная на рисунке 25, состоит только из катушки индуктивности (активными сопротивлениями катушки и соединительных проводов пренебрегаем) и подключена к переменному напряжению:

$$u = U_m \sin \omega t.$$

Под действием этого напряжения по виткам катушки (без сердечника) протекает переменный ток, создающий переменный магнитный поток.

Известно, что переменный магнитный поток, пронизывающий витки катушки, индуцирует в ней э. д. с. самоиндукции, которая зависит от скорости изменения тока и от индуктивности этой цепи:

$$e_L = -L \frac{di}{dt} \quad \text{или для малых конечных приращений} \quad e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

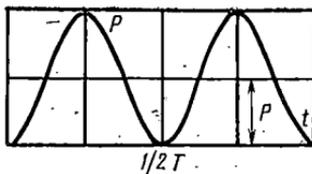


Рис. 24. График мгновенной мощности для цепи с одним активным сопротивлением.

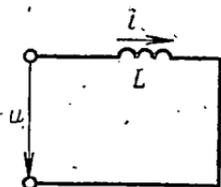


Рис. 25. Цепь с индуктивным сопротивлением.

В рассматриваемой цепи в каждый момент времени приложенное напряжение  $u$  уравнивается э. д. с. самоиндукции  $e_L$ . Действительно, согласно второму закону Кирхгофа  $u + e_L = ir = 0$  (так как  $r = 0$ ), откуда  $u = -e_L$ . Значит, э. д. с. самоиндукции  $e_L$  изменяется по тому же (синусоидальному) закону, что и напряжение  $u$ , но кривая изменения э. д. с. самоиндукции сдвинута по фазе по отношению к кривой напряжения на  $180^\circ$ .

Таким образом, характер изменения э. д. с. самоиндукции в рассматриваемой цепи определяется характером изменения приложенного к ней напряжения.

Установим характер изменения тока в этой цепи. Из формулы

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

скорость изменения тока

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = -\frac{e_L}{L},$$

то есть скорость изменения тока прямо пропорциональна э. д. с. самоиндукции (при постоянной величине индуктивности).

Так как э. д. с. самоиндукции  $e_L$  изменяется по синусоидальному закону, то и скорость изменения тока следует этому же закону и совпадает с ней по фазе. Следовательно, ток в цепи изменяется тоже по синусоидальному закону.

Однако ток в этой цепи опережает по фазе э. д. с. самоиндукции на угол  $\pi/2$ , в чем нетрудно убедиться, рассмотрев рисунок 26, согласно которому скорость изменения тока

$\Delta i / \Delta t$  уменьшается по мере увеличения тока и, наоборот, увеличивается по мере его уменьшения.

В моменты, когда ток достигает максимума, скорость изменения тока равна нулю, а когда ток равен нулю, скорость его изменения достигает максимума, то есть скорость изменения тока отстает от тока на угол  $\pi/2$ .

Мы уже установили, что в цепи с индуктивностью

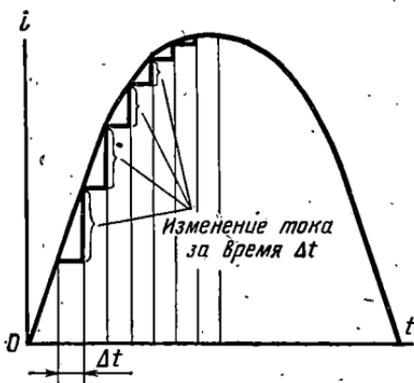


Рис. 26. Скорость изменения тока.

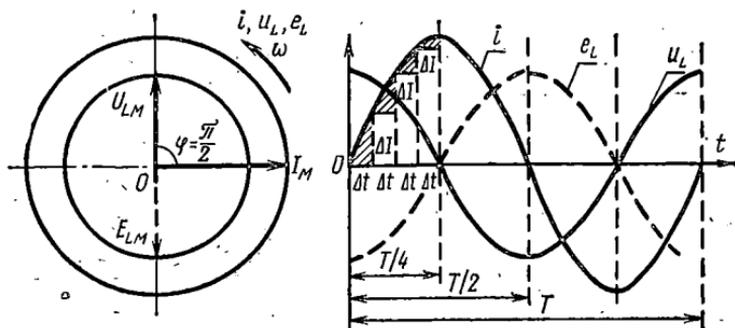


Рис. 27. Векторная диаграмма и графики изменения  $u_L$ ,  $i$  и  $e_L$  для цепи с индуктивным сопротивлением.

э. д. с. самоиндукции совпадает по фазе со скоростью изменения тока и отстает от напряжения на угол  $\pi$ , а ток опережает скорость изменения тока на угол  $\pi/2$ . Следовательно, ток в цепи с индуктивностью отстает по фазе от приложенного напряжения на угол  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ).

На рисунке 27 изображены векторная диаграмма и графики тока, напряжения и э. д. с. самоиндукции для цепи с индуктивностью.

Так как

$$e_L = -L \frac{di}{dt}, \quad u = -e_L \quad \text{и} \quad i = I_M \sin \omega t,$$

то

$$u = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_M \sin \omega t)}{dt} = I_M \omega L \cos \omega t \quad (85)$$

или

$$U_M = I_M \omega L. \quad (86)$$

Разделив обе части выражения (86) на  $\sqrt{2}$ , получим действующие значения напряжения и тока:

$$U = L \omega I, \quad (87)$$

откуда

$$I = \frac{U}{\omega L}. \quad (88)$$

Полученное выражение по форме аналогично закону Ома для участка цепи с активным сопротивлением, но в знаменателе вместо активного сопротивления  $r$  стоит величина  $\omega L$ , размерность которой оказывается такой же, как и активного сопротивления; действительно,

$$[\omega L] = \frac{1}{c} \cdot \Gamma = \frac{\text{Ом} \cdot c}{c} = \text{Ом}.$$

Величину  $\omega L$  обозначают как  $x_L$  и называют реактивным сопротивлением индуктивности или просто индуктивным сопротивлением:

$$x_L = \omega L = 2\pi fL, \quad (89)$$

где  $f$  — частота, Гц;

$L$  — индуктивность, Г.

Закон Ома для участка цепи переменного тока с индуктивностью выглядит так:

$$I = \frac{U}{X_L}, \quad (90)$$

то есть сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению.

Мгновенная мощность цепи с индуктивностью определяется произведением мгновенных значений напряжения и тока:

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) I_m \sin \omega t = \\ &= U_m I_m \cos \omega t \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t. \end{aligned} \quad (91)$$

На рисунке 28 показан график мгновенной мощности. Анализ формулы (91) и графика показывает, что мгновенная мощность в цепи с индуктивностью изменяется по синусоидальному закону, но с двойной угловой скоростью ( $2\omega$ )

и что ее амплитуда равна произведению  $UI$ .

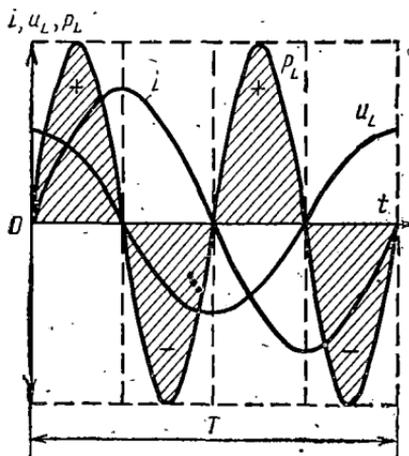


Рис. 28. График значений мгновенной мощности для цепи с одним индуктивным сопротивлением.

В течение первой четверти периода мгновенная мощность положительна, поскольку ток и напряжение имеют одинаковые знаки. В это время ток в цепи увеличивается, энергия накапливается в магнитном поле катушки, то есть энергия поступает от источника к потребителю.

В течение второй четверти периода мгновенная мощность отрицательна, так как ток и напряжение имеют разные знаки. В это

время ток уменьшается, снижается магнитный поток катушки, энергия возвращается к источнику.

В течение третьей и четвертой четвертей периода процесс повторяется.

Поскольку в цепи с одной индуктивностью отсутствуют активные потери, энергия, отдаваемая генератором катушке, равна энергии, возвращаемой катушкой генератору.

В первую и третью четверти периода катушка индуктивности работает в режиме потребителя, запасая энергию в магнитном поле, а во вторую и четвертую четверти — в режиме источника энергии.

Средняя (или активная) мощность за период равна нулю ( $p=0$ ). В рассматриваемой цепи происходят колебания энергии между источником и магнитным полем катушки. Эти колебания характеризуются реактивной мощностью катушки.

Реактивная мощность  $Q_L$  оценивается по ее максимальному значению, то есть амплитуда мгновенной мощности и есть реактивная мощность.

Реактивная мощность цепи с индуктивностью

$$Q_L = UI = I^2 \omega L. \quad (92)$$

Реактивную мощность в отличие от активной измеряют не в ваттах, а в вольт-амперах реактивных (вар).

## § 5. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ И ИНДУКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Для изображенной на рисунке 29 цепи переменного тока, содержащей активное  $r$  и индуктивное  $x_L$  сопротивления, на основании второго закона Кирхгофа составим уравнение электрического равновесия:  $u + e_L = ir$ , откуда

$$u = ir + (-e_L) = ir + L \frac{\Delta i}{\Delta t} = u_r + u_L. \quad (93)$$

Приложенное к цепи напряжение состоит из двух составляющих, одна из которых ( $u_r$ ) представляет собой падение напряжения на активном сопротивлении и называется активной составляющей напряжения (общее обозначение  $u_a$ ), а другая равна падению напряжения на индуктивно-

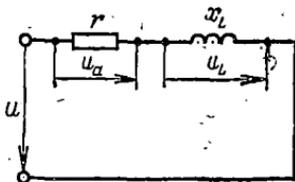


Рис. 29. Цепь с активным и индуктивным сопротивлениями,

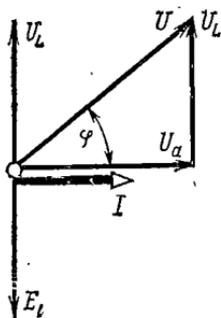


Рис. 30. Векторная диаграмма цепи с активным и индуктивным сопротивлениями (треугольник напряжений).

сти ( $u_L = -e_L$ ) и называется индуктивной составляющей напряжения.

Так как приложенное к цепи напряжение  $U$  изменяется по синусоидальному закону, то и обе его составляющие должны изменяться по тому же закону.

Ранее (см. § 3 и 4 данной главы) было установлено, что на активном сопротивлении напряжение и ток совпадают по фазе, а на индуктивном напряжение опережает по фазе ток на угол  $\pi/2$ . Если исходной величиной считать ток (начальную фазу синусоидально изменяющегося тока принять равной нулю), то для данной цепи ток, активная и индуктивная составляющие напряжения выразятся

следующим образом:

$$i = I_M \sin \omega t; \quad (94)$$

$$U_a = r i = r I_M \sin \omega t; \quad (95)$$

$$u_L = x_L i = x_L I_M \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (96)$$

Амплитудные значения составляющих  $U_{aM} = r I_M$  и  $U_{LM} = x_L I_M$ , а действующие значения их  $U_a = r I$  и  $U_L = x_L I$ .

Мгновенное значение синусоидально изменяющегося напряжения на зажимах данной цепи выразится как сумма слагаемых:

$$u = u_a + u_L = r I_M \sin \omega t + x_L I_M \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (97)$$

Для определения амплитуды и действующего значения приложенного к цепи напряжения построим векторную диаграмму (рис. 30).

При построении векторных диаграмм и графиков для последовательной цепи переменного тока удобно за исходный вектор с начальной нулевой фазой принять вектор тока и относительно него строить векторы других величин, поскольку в случае последовательного соединения ток во всех участках цепи в данный момент времени один и тот же.

На векторной диаграмме направление вектора тока  $I$  совпадает с положительным направлением оси абсцисс, от которой отсчитывают начальные фазовые углы. Вектор активной составляющей  $U_a$  напряжения направлен одинаково с вектором тока  $I$ . Вектор индуктивной составляющей

напряжения  $U_L$  направлен перпендикулярно вектору тока  $I$  и опережает его. Сумма векторов  $U_a$  и  $U_L$  дает результирующий вектор (гипотенуза), который и является вектором приложенного к цепи напряжения.

Из диаграммы видно, что вектор общего напряжения  $U$  опережает вектор тока  $I$  на угол  $0 < \varphi < 90^\circ$ . На основании этой диаграммы уравнение приложенного к цепи напряжения запишется в виде

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Следовательно, в цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью напряжение опережает ток на некоторый угол  $\varphi$ , величина которого зависит от соотношения активного  $r$  и индуктивного  $x_L$  сопротивлений. Чем больше индуктивное сопротивление  $x_L$ , тем больше угол  $\varphi$ , который для данной цепи может изменяться от 0 до  $+90^\circ$ . В цепях с чисто активным сопротивлением  $\varphi = 0$ , в цепях с чистой индуктивностью  $\varphi = 90^\circ$ .

Поскольку вектор  $U$  представляет собой гипотенузу прямоугольного *треугольника напряжений*, катетами которого являются векторы падений напряжения в активном  $U_a$  и индуктивном  $U_L$  сопротивлениях, можно записать:

$$U_a = U \cos \varphi, \quad U_L = U \sin \varphi, \\ U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}.$$

Подставив в последнее выражение значение  $U_a = rI$  и  $U_L = x_L I$ , получим

$$U = \sqrt{(rI)^2 + (x_L I)^2} = I \sqrt{r^2 + x_L^2},$$

откуда

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_L^2}}. \quad (98)$$

Величина, стоящая в знаменателе, имеет размерность сопротивления, обозначается буквой  $z$  и называется **п о л н ы м с о п р о т и в л е н и е м**:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}. \quad (99)$$

Вводя принятое обозначение полного сопротивления, получим выражение **з а к о н а О м а** для данной цепи

$$I = \frac{U}{z}. \quad (100)$$

Если каждую сторону *треугольника напряжений* (рис. 30) разделить на ток, то получим *треугольник сопро-*

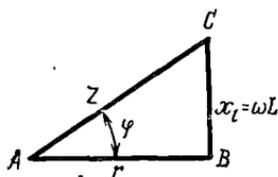


Рис. 31. Треугольник сопротивлений.

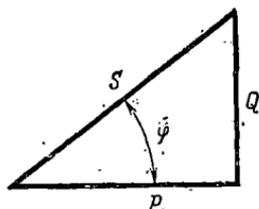


Рис. 32. Треугольник мощностей.

тивлений (рис. 31), для которого характерны следующие соотношения:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}, \quad \cos \varphi = \frac{r}{z}, \quad \sin \varphi = \frac{x_L}{z}, \quad (101)$$

то есть активное, индуктивное и полное сопротивления связаны между собой, как стороны прямоугольного треугольника.

Если каждую сторону треугольника напряжений умножить на ток, то получим *треугольник мощностей* (рис. 32).

Тогда активная мощность

$$P = U_a I, \quad (102)$$

реактивная мощность

$$Q = U_L I, \quad (103)$$

а полная мощность

$$S = UI. \quad (104)$$

Единица измерения полной мощности — в о л т - а м п е р (сокращенно В·А).

Из прямоугольного треугольника мощностей следует:

$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi, \quad Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi, \\ S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (105)$$

В формуле активной мощности множитель  $\cos \varphi$  называют коэффициентом мощности, который определяется отношением активной мощности цепи к ее полной мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (106)$$

Чем больше  $\cos \varphi$ , тем эффективнее используется потребителями энергия источника. Например, в цепи переменного тока с чисто активным сопротивлением  $\varphi=0$ ,  $\cos \varphi=1$ ,

то есть вся энергия, поступающая от источника, преобразуется в другие виды энергии. В цепи с чисто индуктивным сопротивлением  $\varphi=90^\circ$ ,  $\cos \varphi=0$ , то есть энергия совершает колебания между источником и потребителем, но не используется (цепь загружена колебаниями реактивной энергии и работает вхолостую).

Коэффициент мощности сильно влияет на экономические показатели электрических установок, от его значения зависит эффективность их использования.

Повышение коэффициента мощности дает возможность наиболее полно использовать установленную мощность источников.

Основной причиной низкого коэффициента мощности сети является недогрузка электрических двигателей, у которых при работе вхолостую  $\cos \varphi \approx 0,2$ , а в номинальном режиме  $\cos \varphi \approx 0,85$ .

## § 6. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ЕМКОСТНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

В изображенную на рисунке 33 цепь переменного тока включена емкость, то есть идеальный конденсатор без потерь (активное сопротивление цепи  $r=0$ ).

Под действием переменного напряжения  $u$  конденсатор будет заряжаться и разряжаться и в цепи будет проходить ток то в одном, то в другом направлении. Напряжение  $u_c$  на конденсаторе в каждый момент времени равно приложенному напряжению  $u$ , но сдвинуто по фазе на  $180^\circ$ , значит, приложенное к цепи синусоидально изменяющееся напряжение  $u$  уравновешивается напряжением  $u_c$  на конденсаторе:  $u=-u_c$ .

В цепи, где действует переменное синусоидальное напряжение  $u$ , заряд конденсатора изменяется пропорционально напряжению ( $q=Cu$ ) и, следовательно, проходит переменный ток заряда и разряда конденсатора, изменяющийся тоже по синусоидальному закону.

Ток в цепи конденсатора

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (107)$$

или для малых конечных приращений

$$i = C \frac{\Delta u}{\Delta t}.$$

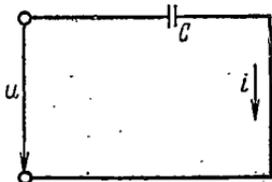


Рис. 33. Цепь с емкостным сопротивлением.

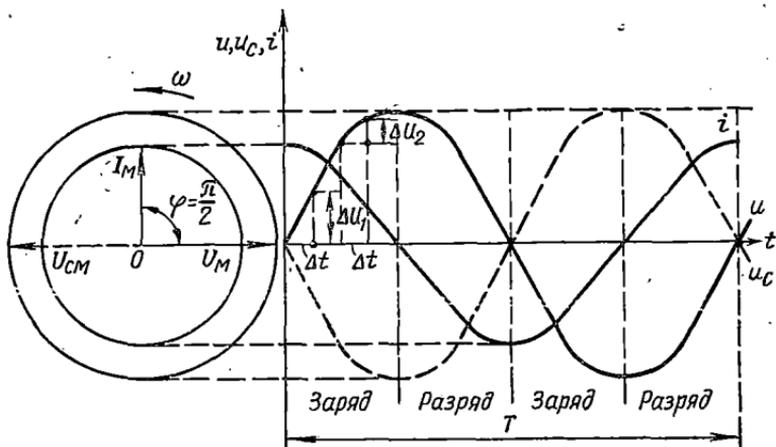


Рис. 34. Векторная диаграмма и графики тока и напряжения ( $u$  и  $u_c$ ) цепи с емкостью.

На рисунке 34 представлены векторная диаграмма и графики напряжения и тока для данной цепи.

В первой четверти периода, когда напряжение  $u$  источника возрастает от нуля до максимума, конденсатор заряжается, на его обкладках накапливается заряд и напряжение  $u_c$  конденсатора увеличивается. При этом направление тока совпадает с направлением подводимого напряжения. Когда напряжение источника к концу первой четверти периода достигает наибольшего значения  $U_m$  и напряжение конденсатора также становится максимальным  $U_{cm}$ , заряд конденсатора прекращается и ток в цепи становится равным нулю.

Из графиков напряжения видно, что скорость изменения напряжения  $\frac{\Delta u}{\Delta t}$  неодинакова: в начале первой четверти периода она максимальна, а в конце минимальна, так как за одно и то же приращение времени  $\Delta t$  в начале прирост напряжения  $\Delta u_1$  значительно больше, чем  $\Delta u_2$  в конце. Поэтому ток в начале первой четверти наибольший, а в конце наименьший.

Во вторую четверть периода напряжение источника уменьшается от максимума до нуля, конденсатор разряжается, направление тока в цепи обратное.

Скорость изменения напряжения в начале второй четверти периода мала, а в конце максимальна, поэтому раз-

рядный ток в цепи постепенно увеличивается от нуля до максимума.

Во вторую половину периода напряжение источника меняет свое направление и конденсатор перезаряжается, а затем снова разряжается.

Как показывают графики, в цепи с одним емкостным сопротивлением ток опережает по фазе приложенное напряжение на угол  $\frac{\pi}{2}$  ( $90^\circ$ ).

Для данной цепи ток и напряжение выразятся формулами

$$u = U_m \sin \omega t \quad (108)$$

и

$$i = I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (109)$$

Продифференцируем выражение (107)

$$i = C \frac{du}{dt} = C U_m \frac{d \sin \omega t}{dt} = C \omega U_m \cos \omega t.$$

Из этого выражения следует, что амплитуда тока

$$I_m = C \omega U_m. \quad (110)$$

Разделив это выражение на  $\sqrt{2}$ , получим

$$I = C \omega U = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{z_C}. \quad (111)$$

В конечном виде (111) является выражением закона Ома для цепи переменного тока с конденсатором.

Знаменатель в этом выражении имеет размерность сопротивления и называется емкостным сопротивлением:

$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}. \quad (112)$$

Емкостное сопротивление обратно пропорционально емкости и частоте переменного тока.

Мгновенная мощность цепи с емкостью определяется произведением мгновенных значений напряжения и тока:

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin \omega t I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \\ &= U_m I_m \sin \omega t \cos \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t. \end{aligned} \quad (113)$$

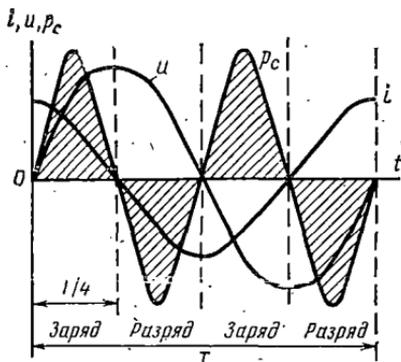


Рис. 35. График мощности для цепи с емкостным сопротивлением.

Мгновенная мощность в данной цепи изменяется по синусоидальному закону с двойной угловой скоростью. График мощности показан на рисунке 35. В течение первой и третьей четвертей периода конденсатор заряжается, энергия от источника поступает к конденсатору и накапливается в электрическом поле конденсатора; в это время мощность положительна. Во вторую и четвертую четверти периода конденсатор разряжается, энергия от конденсатора поступает к источнику; мгновенная мощность отрицательна.

Средняя за период (активная) мощность цепи с емкостью равна нулю ( $P=0$ ), как и в цепи с индуктивностью.

Реактивная мощность в цепи переменного тока с емкостью

$$Q = UI = I^2 x_c. \quad (114)$$

Здесь реактивная мощность характеризует скорость обмена энергией между источником и конденсатором.

## § 7. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ АКТИВНОГО, ИНДУКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

Если к зажимам цепи, содержащей соединенные последовательно активное, индуктивное и емкостное сопротивления (рис. 36), приложено переменное синусоидальное напряжение, то в ней протекает переменный, синусоидально изменяющийся ток. На активном сопротивлении  $r$  имеет место активное падение напряжения  $U_a = Ir$ , совпадающее по фазе с током.

На индуктивном сопротивлении происходит ин-

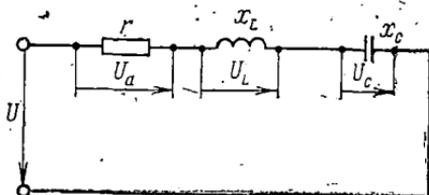


Рис. 36. Цепь с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.

дуктивное падение напряжения  $U_L = Ix_L$ , опережающее по фазе ток на угол  $\pi/2$ .

На емкостном сопротивлении имеет место емкостное падение напряжения  $U_C = Ix_C$ , отстающее по фазе от тока на угол  $\pi/2$ .

Напряжение на зажимах цепи является геометрической суммой напряжений на отдельных сопротивлениях:

$$\bar{u} = \bar{u}_a + \bar{u}_L + \bar{u}_C. \quad (115)$$

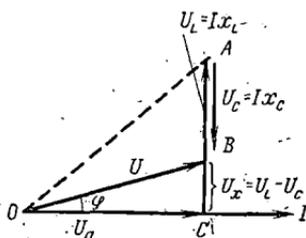


Рис. 37. Векторная диаграмма для цепи с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.

На векторной диаграмме (рис. 37) за исходный принят вектор тока (с нулевой начальной фазой). Вектор активной составляющей напряжения  $U_a$  по направлению совпадает с вектором тока  $I$ , вектор индуктивной составляющей  $U_L$  направлен перпендикулярно вектору тока  $I$  в сторону опережения, а вектор емкостной составляющей  $U_C$  — перпендикулярно вектору тока  $I$  в сторону отставания.

Вектор общего напряжения (на зажимах цепи) является геометрической (векторной) суммой трех указанных составляющих напряжения.

Векторы индуктивной и емкостной составляющих напряжения расположены на одной прямой и направлены в противоположные стороны. Следовательно, геометрическое сложение этих двух составляющих может быть заменено алгебраическим сложением.

Разность индуктивного и емкостного падений напряжений называется реактивным падением напряжения:

$$U_x = U_L - U_C. \quad (116)$$

Так как  $U_L = Ix_L$  и  $U_C = Ix_C$ ,  
то  $U_x = Ix_L - Ix_C = I(x_L - x_C)$ .

Разность индуктивного и емкостного сопротивлений ( $x_L - x_C = x$ ) называется реактивным сопротивлением.

Из векторной диаграммы следует, что

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_x^2} = \sqrt{(Ir)^2 + (Ix)^2} = I\sqrt{r^2 + x^2},$$

откуда

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U}{z} \quad (118)$$

Это равенство выражает закон Ома для общего случая последовательного соединения различных по характеру сопротивлений.

Величину

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (119)$$

называют полным сопротивлением.

Угол сдвига фаз  $\varphi$  между общим напряжением и током может быть определен графически по векторной диаграмме или треугольнику сопротивлений (рис. 38) при помощи тригонометрической функции:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{r}; \quad \cos \varphi = \frac{r}{z}; \quad \sin \varphi = \frac{x}{z}. \quad (120)$$

Если  $x_L > x_C$ , то угол  $\varphi$  положителен; это значит, что общее напряжение опережает по фазе ток в цепи на угол  $\varphi$ .

Если  $x_L < x_C$ , то угол  $\varphi$  отрицателен; общее напряжение отстает по фазе от тока на угол  $\varphi$ .

Если же  $x_L = x_C$ , то угол  $\varphi$  равен нулю, общее напряжение и ток в цепи совпадают по фазе. Цепь по отношению к источнику ведет себя так, как будто бы в ней нет ни индуктивности, ни емкости. Этот особый случай получил название резонанса напряжений.

В режиме резонанса общее напряжение равно напряжению на активном сопротивлении, общее сопротивление равно активному сопротивлению, ток и напряжение совпадают по фазе. Напряжения на индуктивности и емкости могут быть во много раз больше напряжения источника

(когда  $x_L = x_C \gg r$ ), что представляет опасность для изоляции электроустановки и обслуживающего персонала. Режим резонанса напряжений недопустим, поэтому следует принимать меры для его предотвращения.

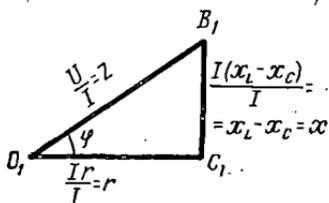


Рис. 38. Треугольник сопротивлений,

Для цепей переменного тока с последовательным соеди-

нением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений мощность определяют по формулам, аналогичным тем, которые приводились ранее для цепи с активным и индуктивным сопротивлениями.

### § 8. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ АКТИВНОГО, ИНДУКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цепь, изображенная на рисунке 39, состоит из трех параллельных ветвей. Первая ветвь содержит активное  $r_1$  и индуктивное  $x_{L_1}$ , вторая — активное  $r_2$  и емкостное  $x_{C_2}$ , а третья — активное  $r_3$  и индуктивное  $x_{L_3}$  сопротивления.

Каждая из ветвей характеризуется полным сопротивлением  $z$ , которое можно определить по ранее приведенным формулам.

Все три параллельные ветви находятся под одинаковым напряжением  $U$ , равным напряжению источника.

Токи в ветвях определяют по закону Ома:

$$I_1 = \frac{U}{z_1}; \quad I_2 = \frac{U}{z_2}; \quad I_3 = \frac{U}{z_3}. \quad (121)$$

Общий ток в неразветвленной части цепи представляет собой геометрическую сумму токов отдельных ветвей:

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3. \quad (122)$$

При построении векторных диаграмм разветвленных цепей переменного тока за исходный принимают вектор

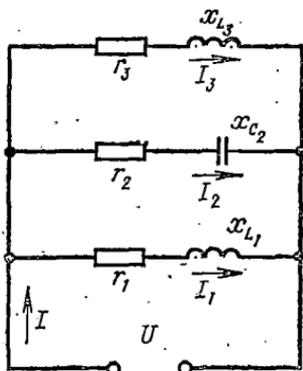


Рис. 39. Цепь из трех параллельных ветвей.

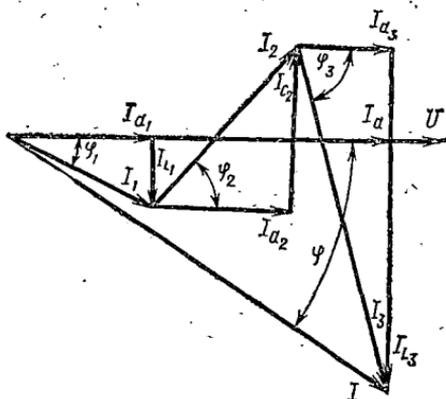


Рис. 40. Векторная диаграмма.

напряжения, так как оно для всех параллельных ветвей является общим.

На рисунке 40 приведена векторная диаграмма для рассматриваемой цепи. По горизонтальной оси отложен вектор напряжения  $U$ . Вектор каждого из токов ветвей ( $I_1, I_2, I_3$ ) располагают под соответствующим углом сдвига по фазе ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ ) между напряжением  $U$  и током в ветви, причем начало вектора  $I_2$  совмещают с концом вектора  $I_1$ , а начало вектора  $I_3$  — с концом вектора  $I_2$ .

Замыкающий вектор  $I$  представляет ток в неразветвленной части цепи.

Мы рассмотрели графический метод определения тока в неразветвленной части цепи. Однако на практике удобнее пользоваться аналитическим методом расчета.

Разложим вектор общего тока на две взаимно перпендикулярные составляющие — активную  $I_a$ , которая совпадает по фазе с напряжением  $U$ , и реактивную  $I_p$ , которая отстает от напряжения на угол  $\pi/2$ .

Активная составляющая общего тока

$$I_a = I \cos \varphi. \quad (123)$$

Реактивная составляющая общего тока

$$I_p = I \sin \varphi. \quad (124)$$

Так как проекция результирующего вектора на какую-либо ось равна алгебраической сумме проекций составляющих векторов на ту же ось, то для рассматриваемого случая можно записать:

$$I_a = I_{a_1} + I_{a_2} + I_{a_3} \quad \text{и} \quad I_p = I_{p_1} + I_{p_2} + I_{p_3}. \quad (125)$$

Активные составляющие токов для каждой ветви

$$I_{a_1} = I_1 \cos \varphi_1; \quad I_{a_2} = I_2 \cos \varphi_2; \quad I_{a_3} = I_3 \cos \varphi_3. \quad (126)$$

Реактивные составляющие токов для каждой ветви

$$I_{p_1} = I_1 \sin \varphi_1; \quad I_{p_2} = I_2 \sin \varphi_2; \quad I_{p_3} = I_3 \sin \varphi_3. \quad (127)$$

Активный, реактивный и общий токи связаны между собой, как стороны прямоугольного треугольника. Поэтому общий ток можно определить по формуле

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}. \quad (128)$$

Активная мощность цепи

$$P = UI \cos \varphi = UI_a. \quad (129)$$

Реактивная мощность цепи

$$Q = UI \sin \varphi = UI_p. \quad (130)$$

Полная мощность цепи

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (131)$$

Коэффициент мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I}. \quad (132)$$

Таким образом, расчет разветвленной цепи аналитическим методом ведут в следующем порядке.

1. Определяют общее сопротивление каждой ветви (119).
2. Находят  $\cos \varphi_i$  и  $\sin \varphi_i$  для каждой ветви (120).
3. Вычисляют общие токи ветвей (121).
4. Определяют активные и реактивные составляющие токов в каждой из ветвей (126 и 127).
5. Рассчитывают активную и реактивную составляющие общего тока (125).
6. Находят общий ток (128).
7. Вычисляют активную, реактивную и полную мощности цепи (129, 130, 131).
8. Определяют коэффициент мощности  $\cos \varphi$  цепи (132).

В цепях переменного тока с параллельным соединением различных по характеру сопротивлений может возникнуть явление, получившее название резонанса токов.

Рассмотрим разветвленную цепь переменного тока, состоящую из двух параллельных ветвей. Первая ветвь содержит активное  $r_1$  и индуктивное  $x_{L_1}$ , а вторая ветвь — активное  $r_2$  и емкостное  $x_C$  сопротивления (рис. 41).

Если реактивные составляющие токов в ветвях будут равны между собой ( $I_L = I_C$ ), ток  $I$  на неразветвленном участке цепи совпадает по фазе с напряжением  $U$ .

Так как реактивный ток цепи, представляющий собой разность реактивных токов в ветвях  $I_p = I_L - I_C$ , станет равным нулю, то общий ток цепи

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = I_a$$

будет чисто активным и равным сумме активных токов ветвей:

$$I = I_a = I_{a_1} + I_{a_2}. \quad (133)$$

Этот случай, когда реактивные составляющие токов в параллельных ветвях с индуктивностью и ем-

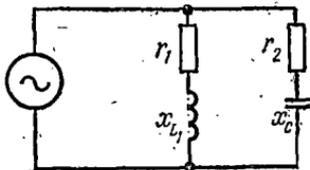


Рис. 41. Схема разветвленной цепи, состоящей из двух параллельных ветвей.

костью равны между собой  $I_L = I_C$ , и называется резонансом токов.

При резонансе токов общее сопротивление цепи достигает максимума, а общий ток в цепи становится наименьшим и совпадает по фазе с приложенным напряжением. Ток в параллельных ветвях при резонансе наибольший и в несколько раз превышает общий ток цепи.

В режиме резонанса токов ветви с индуктивным и емкостным сопротивлениями создают как бы самостоятельную цепь без внешнего источника напряжения. В замкнутом контуре из  $x_L$  и  $x_C$  происходит колебательный процесс, при котором энергия, поступившая в контур из сети, непрерывно меняет свою форму: из электрической превращается в магнитную, и наоборот. Колебательные контуры широко используют в радиотехнике.

Для повышения коэффициента мощности приемников, обладающих большим индуктивным сопротивлением (например, электродвигатели переменного тока), параллельно приемникам включают конденсаторы.

## **Лабораторная работа 2**

**Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным и индуктивным сопротивлениями**

**Цель работы.** Экспериментальным путем исследовать влияние индуктивного и активного сопротивлений на ток, мощность и коэффициент мощности неразветвленной цепи переменного тока.

**Оборудование и приборы.** 1) Катушка индуктивности с подвижным стальным сердечником. 2). Трехконтактный реостат до 5 А с движком. 3). Амперметр с пределом измерения до 10 А. 4). Вольтметр. 5). Ваттметр. 6). Фазометр. 7). Соединительные провода.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Начертить схему электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных реостата и катушки и соответственно включенных электроизмерительных приборов.

2. Ознакомиться с приборами и оборудованием на рабочем месте.

3. Собрать цепь и после проверки ее преподавателем подключить к сети.

4. Установить при помощи реостата ток в цепи  $I = 1$  А (сердечник полностью введен в катушку). Для пяти положений движка реостата записать в таблицу показания вольтметра, амперметра, ваттметра и фазометра на участках и по всей цепи.

5. По полученным данным определить и записать в таблицу для каждого положения движка реостата активное  $r_k$  и реактивное  $x_k$  сопротивления, а также индуктивность  $L$  катушки, активное  $r$  и полное  $z$  сопротивления цепи, а также полную  $S$  и реактивную  $Q$  мощности всей цепи.

6. По данным таблицы построить графики зависимостей тока, мощности и коэффициента мощности от сопротивления цепи  $r$ . Построить векторную диаграмму.

7. Оставляя постоянным активное сопротивление цепи, изменять индуктивность катушки, постепенно выдвигая сердечник из нее. Для пяти положений сердечника записать в таблицу показания приборов и по полученным данным определить для каждого положения сердечника полное  $z_k$ , активное  $r_k$  и реактивное  $x_k$  сопротивления, индуктивность  $L$ , а также полную  $S_k$  и реактивную  $Q_k$  мощности катушки.

8. По полученным данным построить графики зависимостей тока, мощности и коэффициента мощности от реактивного сопротивления катушки.

9. Построить векторную диаграмму (для одного из положений сердечника).

10. Составить отчет о работе.

### Лабораторная работа 3

**Исследование разветвленной цепи переменного тока. Меры повышения коэффициента мощности**

**Цель работы.** Экспериментальное подтверждение зависимостей между основными электрическими величинами на примере разветвленной цепи переменного тока. Увеличение коэффициента мощности цепи при помощи конденсаторов, подключаемых параллельно потребителям энергии.

**Оборудование и приборы.** 1) Автотрансформатор. 2) Катушка индуктивности с выдвигным стальным сердечником. 3) Два амперметра. 4) Вольтметр. 5) Ваттметр. 6) Фазометр. 7) Батарея конденсаторов емкостью до 200 мкФ. 8) Соединительные провода. 9) Рубильник однополюсный.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с оборудованием на рабочем месте.

2. Собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке 42, и показать ее преподавателю.

3. При отключенных рубильниках конденсаторов включить цепь под напряжение и записать показания приборов в таблицу.

4. Замыкая один за другим рубильники конденсаторов, записать в таблицу показания приборов.

5. По полученным данным для каждого значения включенной емкости определить ее реактивное сопротивление  $x_C$ , емкость конденсаторов  $C$ , реактивные мощности  $Q_k$ ,  $Q_C$  и  $Q$ , активное  $r_k$  и реактивное  $x_k$  сопротивления катушки. Данные расчетов внести в таблицу.

6. По данным таблицы построить график зависимости  $\cos\varphi$  от значений переменной емкости  $C$ .

7. Составить отчет о работе.

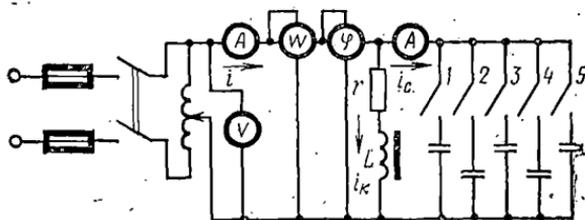


Рис. 42. Схема параллельного соединения катушки и батареи конденсаторов.

## Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение переменного тока и расскажите, какими основными величинами он характеризуется.
2. Напишите формулы, выражающие зависимость между мгновенными, амплитудными и действующими значениями тока, напряжения и э. д. с.
3. Как графически изображаются синусоидально изменяющиеся величины? Что называется векторной диаграммой?
4. Напишите закон Ома, постройте векторную диаграмму и графики тока и напряжения для цепи переменного тока, содержащей только активное сопротивление.
5. Как определить мощность в цепи с одним активным сопротивлением?
6. Напишите закон Ома и постройте векторную диаграмму тока и напряжения для цепи переменного тока, содержащей только индуктивное сопротивление.
7. Как определить индуктивное сопротивление и мощность в цепи переменного тока?
8. Напишите закон Ома и постройте векторную диаграмму для последовательной цепи переменного тока, содержащей активное и индуктивное сопротивления.
9. Как определить полное сопротивление и мощность в последовательной цепи, содержащей активное и индуктивное сопротивления?
10. Что такое коэффициент мощности и как его вычислить?
11. Напишите закон Ома и постройте векторную диаграмму для цепи переменного тока, содержащей одно емкостное сопротивление.
12. Как определить емкостное сопротивление и мощность в цепи с емкостью?
13. Напишите закон Ома и постройте векторную диаграмму для цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Что называют полным сопротивлением данной цепи?
14. Что такое резонанс напряжений и резонанс токов?
15. Изложите порядок расчета разветвленной цепи аналитическим методом.

## Глава IV. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

Трехфазной называется система, состоящая из трех электрических цепей одной частоты, э. д. с. которых сдвинуты по фазе на одну треть периода ( $120^\circ$ ). Каждая отдельная цепь трехфазной системы образует фазу.

Рассмотрим схему устройства и принцип действия генератора трехфазного тока (рис. 43). Он состоит из двух основных частей: неподвижной — статора 1 и вращающейся — ротора 2. В пазы статора вложены три обмотки с одинаковым числом витков, сдвинутые на  $2\pi/3$  рад (для двухполюсной машины). Каждый виток занимает два противоположных пазы. На вал ротора жестко посажен двухполюсный электромагнит с полюсными наконечни-

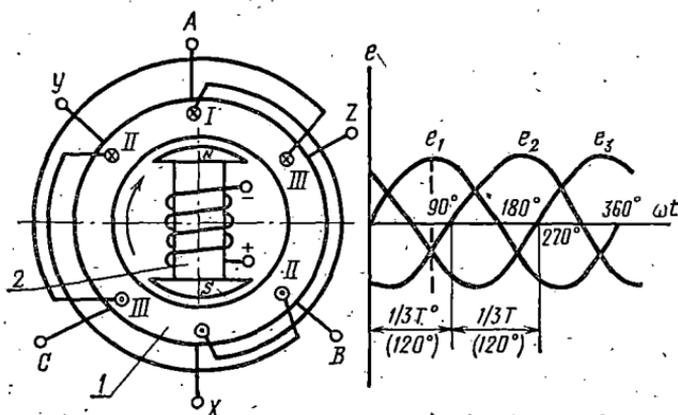


Рис. 43. Схема устройства и принцип действия генератора трехфазного тока.

ками  $N$  и  $S$ . Обмотка электромагнита питается постоянным током от специального источника.

Ротор генератора приводится во вращение первичным двигателем (турбиной, двигателем внутреннего сгорания и др.), и в фазных обмотках статора индуцируются переменные э. д. с. Так как магнитное поле вращающегося ротора пересекает фазные обмотки не одновременно, то э. д. с. обмоток сдвинуты по фазе относительно друг друга на одну треть периода  $2\pi/3$ .

Э. д. с., индуцируемые в фазах (обмотках), называют фазными. Каждая обмотка трехфазного генератора представляет собой самостоятельный источник и сокращенно называется фазой генератора. Все три обмотки фаз генератора имеют одинаковое число витков и изготовлены из провода одного сечения. Поэтому максимальные  $E_m$  и действующие  $E$  значения э. д. с. этих обмоток одинаковы. Система трех э. д. с. с одинаковыми амплитудами и сдвинутыми по фазе относительно друг друга на  $1/3$  периода называется симметричной. Наоборот, при неравенстве амплитуд э. д. с. или неравенстве углов сдвига фаз между ними система э. д. с. будет несимметричной. На электрических схемах трехфазный генератор условно обозначают в виде трех обмоток, расположенных по отношению друг к другу под углом  $2\pi/3$  рад. Начало обмотки первой фазы обозначают буквой  $A$ , а ее конец —  $X$ ; начало второй фазы — буквой  $B$ , конец —  $Y$ ; начало третьей фазы — буквой  $C$ , конец —  $Z$ .

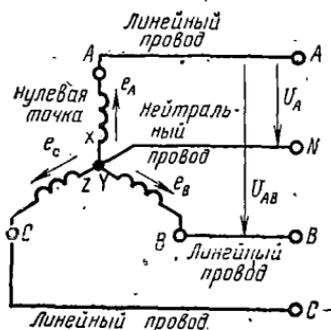


Рис. 44. Схема генератора при соединении обмоток в звезду.

Фазные обмотки трехфазного генератора соединяют по двум основным схемам, названным «звезда» и «треугольник».

Если концы всех трех обмоток генератора сведены в одну точку, а начала обмоток подключены к линейным проводам (рис. 44), то образуется соединение «звезда» (условное обозначение  $Y$ ). Точку соединения концов обмоток  $O$  называют *нулевой точкой* генератора, провода, идущие от начала обмоток генератора к потребителю, — *линейными*, а про-

вод, соединяющий нулевые точки генератора и потребителя, — *нулевым* или *нейтральным*.

В линейном проводе протекает *линейный ток*, а в обмотке (фазе) генератора — *фазный*. Между линейными проводами действуют линейные напряжения, обозначаемые  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ , или в общем виде  $U$ . Напряжения между линейными проводами и нулевым проводом называют *фазными* и обозначают  $U_A, U_B, U_C$ , или в общем виде  $U_\phi$ . Пренебрегая падением напряжения внутри обмоток трехфазного генератора, можно считать, что фазные напряжения равны фазным э. д. с.

При соединении звездой линейные токи равны фазным ( $I = I_\phi$ ), а линейные напряжения больше фазных в  $\sqrt{3}$  раза, что есть

$$U = \sqrt{3} U_\phi. \quad (134)$$

Если конец первой обмотки трехфазного генератора соединить с началом второй, конец второй — с началом третьей и конец третьей — с началом первой (рис. 45), то получится соединение «треугольник» (условное обозначение  $\Delta$ ).

К общим точкам соединения обмоток генератора подключают линейные провода.

При соединении обмоток генератора треугольником линейное напряжение равно фазному

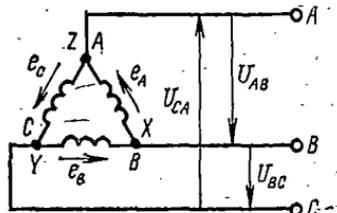


Рис. 45. Схема генератора при соединении обмоток в треугольник.

( $U=U_{\phi}$ ), а линейный ток больше фазного в  $\sqrt{3}$  раза, то есть

$$I = \sqrt{3} I_{\phi}. \quad (135)$$

Активная мощность трехфазной системы при соединении потребителей звездой и треугольником определяется как сумма мощностей отдельных фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C \text{ или } P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}. \quad (136)$$

При равной нагрузке всех фаз

$$P = 3P_{\phi}. \quad (137)$$

Мощность одной фазы

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi, \quad (138)$$

где  $\varphi$  — угол сдвига фаз между фазными напряжением и током.

Выражая фазные величины через линейные, получим формулу мощности для симметричной трехфазной системы (независимо от соединения звездой или треугольником):

$$P = 3P_{\phi} = \sqrt{3} UI \cos \varphi. \quad (139)$$

Четырехпроводная трехфазная система (звезда с нулевым проводом), получившая широкое практическое применение (рис. 46), позволяет иметь два напряжения, отличающиеся друг от друга в  $\sqrt{3}$  раз. К четырехпроводной системе можно подключать трехфазные и однофазные потребители.

В СССР для низковольтных электросетей приняты стандартные линейные напряжения 220 и 380 В.

При линейном напряжении  $U=220$  В фазное напряжение  $U_{\phi} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127$  В, а при  $U=380$  В  $U_{\phi} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220$  В.

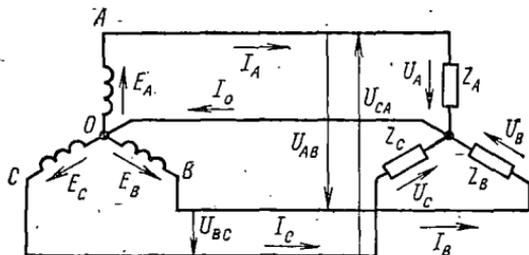


Рис. 46. Схема соединения трехфазного генератора и потребителей.

В соответствии со стандартными напряжениями электросетей приемники энергии изготовляют на номинальные напряжения 127, 220 и 380 В.

Способ включения приемника в сеть трехфазного тока зависит от линейного напряжения сети и от номинального напряжения приемника. Приемники энергии нужно включать в сеть так, чтобы через них протекал номинальный ток (то есть ток, на который рассчитаны эти приемники).

В сеть со стандартным линейным напряжением 380 В лампы и электродвигатели, рассчитанные на номинальное напряжение 220 В, включают по схеме звезда, а электродвигатели с номинальным напряжением 380 В — по схеме треугольник.

В сеть с линейным напряжением 220 В лампы и электродвигатели с номинальным напряжением 127 В включают звездой, а лампы и электродвигатели с номинальным напряжением 220 В — треугольником.

### Лабораторная работа 4

**Исследование цепи трехфазного тока при соединении потребителей электроэнергии звездой**

**Цель работы.** Проверить на опыте соотношения между фазными и линейными величинами. Выяснить роль нулевого провода в четырехпроводной трехфазной системе.

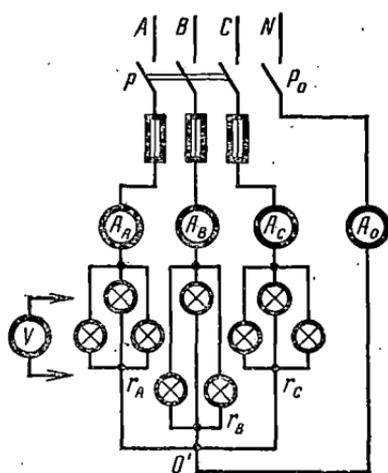


Рис. 47. Схема включения приборов для исследования цепи трехфазного тока при соединении в звезду.

**Оборудование.** 1) Источник трехфазного переменного тока напряжением 220/127 В с выводом нулевой точки. 2) Трехполюсный рубильник. 3) Однополюсный рубильник. 4) Лампы накаливания на 127 В (9 шт.). 5) Три амперметра электромагнитной системы с пределом измерения до 5 А. 6) Амперметр электромагнитной системы на 3 А. 7) Вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения до 300 В. 8) Три ламповых реостата. 9) Соединительные провода.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с оборудованием на рабочем месте. Записать технические данные приборов.

2. Собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке 47, и показать ее преподавателю.

3. Установить равномерную нагрузку в фазах, для чего включить

по три лампы одинаковой мощности в каждую фазу (рубильник в цепи нулевого провода включен). Измерить фазные и линейные напряжения, токи в каждой фазе и в нулевом проводе. Показания приборов записать в таблицу.

4. Выключить рубильник в нулевом проводе и выполнить те же измерения токов и напряжений. Показания приборов записать в таблицу.

5. Установить неравномерную нагрузку в фазах, включив в фазы разное число ламп. При включенном рубильнике в цепи нулевого провода сделать те же измерения, что и в пункте 3. Показания приборов записать в таблицу.

6. Выключить рубильник в цепи нулевого провода и вновь измерить напряжения и токи. Показания приборов записать в таблицу.

Характер нагрузки	Сила тока нагрузки, А				Напряжение, В					
					фазное			линейное		
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_0$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$
Нагрузка равномерная, нулевой провод включен										
Нагрузка равномерная, нулевой провод выключен										
Нагрузка неравномерная, нулевой провод включен										
Нагрузка неравномерная, нулевой провод выключен										
Линейный провод одной из фаз отключен, нулевой провод включен										
Линейный провод одной из фаз и нулевой провод выключены										

7. Отключить линейный провод одной из фаз и выполнить измерения при включенном и выключенном рубильнике в цепи нулевого провода. Показания приборов записать в таблицу.

8. Сделать выводы о влиянии нулевого провода на работу трехфазной системы при равномерной и неравномерной нагрузках фаз.

9. Составить отчет о работе.

### Лабораторная работа 5

Исследование цепи трехфазного тока при соединении потребителей электроэнергии треугольником

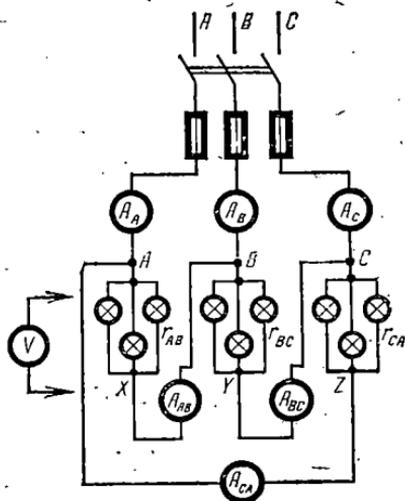


Рис. 48. Схема включения приборов для исследования цепи трехфазного тока при соединении в треугольник.

изображенной на рисунке 48, и показать ее преподавателю.

3. Установить равномерную нагрузку в фазах, включив по три лампы одинаковой мощности в каждую фазу. Измерить токи и напряжения во всех фазах и линейных проводах. Показания приборов записать в таблицу.

Характер нагрузки фаз	Сила тока нагрузки, А						Напряжение, В		
	линейная			фазная			$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$
	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$			
Нагрузка равномерная									
Нагрузка неравномерная									

4. Установить неравномерную нагрузку, включив в фазы разное число ламп. Измерить токи и напряжения во всех фазах и линейных проводах. Показания приборов записать в таблицу.

5. Сравнить линейные и фазные напряжения при равномерной и неравномерной нагрузке фаз и сделать соответствующие выводы.

6. Составить отчет о работе.

**Цель работы.** Проверить на опыте соотношения между фазными и линейными величинами при равномерной и неравномерной нагрузке фаз.

**Оборудование.** 1) Источник трехфазного переменного тока с линейным напряжением 220 В. 2) Трехполюсный рубильник. 3) Лампы накаливания на 220 В (9 шт.). 4) Три амперметра электромагнитной системы с пределом измерения до 5 А. 5) Три амперметра электромагнитной системы с пределом измерения до 3 А. 6) Вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения до 300 В. 7) Три ламповых реостата. 8) Соединительные провода.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с оборудованием на рабочем месте. Записать технические данные приборов.

2. Собрать цепь по схеме,

## Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о трехфазной системе переменного тока и объясните схему устройства и принцип действия генератора трехфазного тока.
2. Как получить трехфазную систему соединения звездой и треугольником обмоток генератора и фаз приемника? Каковы соотношения между фазными и линейными величинами для этих соединений?
3. Расскажите о четырехпроводной трехфазной системе переменного тока.

## Глава V. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

### § 1. ПОНЯТИЕ ОБ ИЗМЕРЕНИИ, МЕРЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПРИБОРЕ

Измерить какую-либо величину — значит представить ее в виде числа, которое показывает, сколько раз в ней содержится величина того же рода, принятая за единицу. Процесс сравнения измеряемой величины с некоторым ее значением, принятым за единицу, называется *измерением*. Приборы, посредством которых сравнивают измеряемую величину с единицей измерения, называют измерительными.

Методы измерения в зависимости от способа получения результата подразделяют на прямые и косвенные. Прямым называется такой метод измерения, при котором измеряемую величину непосредственно сравнивают с величиной того же рода (например, измерение силы тока амперметром). Косвенным называется метод измерения, при котором искомую величину не измеряют непосредственно, а вычисляют на основании измерений других величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью. Например, измеряя силу тока и напряжение амперметром и вольтметром, определяют мощность в цепях постоянного тока ( $P=IU$ ).

В зависимости от способа, который используют для сравнения измеряемой величины с единицей измерения, электроизмерительные приборы подразделяют на приборы непосредственной оценки (например, вольтметр, счетчик) и приборы сравнения, служащие для сравнения измеряемой величины с мерами, которые иногда монтируют в прибор (например, мост для измерения сопротивлений).

По способам получения отсчета измерительные приборы подразделяют на приборы с непосредственным отсчетом и самопишущие.

Общие технические требования и классификация электроизмерительных приборов регламентируются государственным стандартом ГОСТ 1845—59. Электроизмерительные приборы классифицируют: по роду измеряемой величины (например, фазометры для измерения сдвига фаз, счетчики для измерения энергии); по виду измеряемого параметра (ток, напряжение и т. д.); по способу представления результатов измерения и ряду других признаков.

## § 2. ПОНЯТИЕ О ПОГРЕШНОСТЯХ И КЛАССАХ ТОЧНОСТИ

Точность измерительного прибора характеризуется разностью показаний прибора и истинным значением измеряемой величины. В практических измерениях истинное значение измеряемой величины не может быть точно определено в силу имеющихся погрешностей измерительных приборов, которые возникают из-за ряда факторов, присущих собственно измерительному прибору и изменению внешних магнитных и электрических полей, колебаний напряжения питания, температуры и влажности окружающей среды и т. п.

Средства измерительной техники характеризуются двумя видами погрешностей: основной и дополнительной.

Основная погрешность характеризует работу прибора в нормальных условиях, оговоренных техническими условиями завода-изготовителя.

Дополнительная погрешность возникает в приборе при отклонении одной или нескольких влияющих величин от требуемых технических норм завода-изготовителя. Погрешность измерений выражают в абсолютных и относительных величинах.

Абсолютная погрешность — разность между показанием рабочего прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины

$$\Delta X = X - X_0, \quad (140)$$

где  $X$  — показание рабочего прибора;

$X_0$  — истинное (действительное) значение измеряемой величины.

Истинное значение измеряемой величины измеряют образцовым прибором. Например, если при измерении напряжения переменного тока показания рабочего вольтметра были  $U_x = 224$  В, а образцового —  $U_{x_0} = 220$  В, то

абсолютная погрешность измерений будет равна:

$$\Delta U = U_x - U_{x_0}, \quad \Delta U = 224 - 220 = 4 \text{ В.}$$

Однако в измерительной технике наибольшее применение имеют относительная и приведенная погрешности измерений.

Относительная погрешность измерения  $\Delta_{\text{отн}}$  характеризуется отношением абсолютной погрешности  $\Delta X$  к действительному значению измеряемой величины  $X_0$  (в процентах)

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta X}{X_0} 100\%. \quad (141)$$

Для нашего примера

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta U}{U_{x_0}} 100\%; \quad \Delta_{\text{отн}} = \frac{4}{220} 100\% = 1,8\%.$$

Приведенная погрешность  $\Delta$  — это отношение наибольшей абсолютной погрешности  $\Delta X$  к длине шкалы прибора. Приведенную погрешность выражают в процентах:

$$\Delta = \frac{\Delta X}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} 100\%, \quad (142)$$

где  $X_{\text{max}}$  и  $X_{\text{min}}$  — максимальное и минимальное значения измеряемой величины по шкале прибора.

Для оценки точности приборов вводят понятие класса точности приборов.

**Класс точности** электроизмерительных приборов — обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей и параметрами, влияющими на точность измерений, значения которых устанавливают стандартами. В СССР введены следующие классы точности приборов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4,0.

Погрешности измерений подразделяют на систематические и случайные.

Систематическая погрешность характеризуется повторяемостью при измерениях, так как известен характер ее зависимости от измеряемой величины. Систематические погрешности подразделяют на постоянные и временные. К постоянным систематическим погрешностям относят погрешности градуировок приборов, балансировки подвижных частей и т. д.; к временным — погрешности, свя-

занные с изменением условий применения приборов, колебаниями напряжения питания и т. д.

Вариация показаний электроизмерительных приборов относится к систематическим погрешностям, она характеризует разницу показаний прибора при повторных измерениях действительного значения постоянной величины при изменении направления измерений

$$A = \frac{X_{\text{пр}} - X_{\text{обр}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} 100\%, \quad (143)$$

где  $A$  — вариация измерений;

$X_{\text{пр}}$  — значение измеряемой величины, измеренной прибором в прямом направлении;

$X_{\text{обр}}$  — значение измеряемой величины, измеренной прибором в обратном направлении.

**С л у ч а й н а я** погрешность — погрешность измерения, изменяющаяся по неопределенному закону при многократных измерениях какой-либо постоянной величины. Такие погрешности обуславливаются рядом причин, а количественная оценка их может быть проведена при помощи законов теории вероятности.

### § 3. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ПРИБОРОВ И СИСТЕМА ИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

**Цена деления.** Шкалы приборов имеют деления. Для перевода числа делений в число единиц измеряемой величины нужно число делений умножить на цену деления. Цена деления — это число единиц измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы.

Для получения цены деления следует предел измерения прибора разделить на число делений шкалы.

**Собственное потребление мощности.** Для работы прибора необходима затрата мощности. Она должна быть минимальной, чтобы не оказывать практического влияния на правильность показаний прибора.

Кратковременная перегрузочная способность отражает свойство приборов противостоять в процессе эксплуатации кратковременным перегрузкам, возникающим при аварии, ошибочном включении. Особенно подвержены перегрузкам стрелки приборов при резких ударах об упорный штифт.

**Электрическая прочность изоляции.** Безопасность работы с электроизмерительной аппаратурой зависит от качества изоляции токоведущих частей прибора. Проверка

изоляции осуществляется приложением повышенного напряжения (обычно 2 кВ) переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин между всеми изолированными электрическими цепями и корпусом.

Различным системам механизмов приборов присвоены следующие буквенные обозначения: М — магнитоэлектрическая, Э — электромагнитная, Д — электро- и ферродинамические, И — индукционная, С — электростатическая. На шкале прибора имеется буквенное обозначение системы механизма и указан род измеряемого тока (постоянный, переменный, трехфазный), условно показано положение шкалы и дана величина наибольшего допустимого напряжения между измерительной цепью и корпусом прибора. В маркировку прибора входят: буква, обозначающая систему прибора; цифры, указывающие шифр завода-изготовителя и номер конструктивной разработки. Например, М4204 — прибор магнитоэлектрической системы, изготовлен заводом электроизмерительных приборов, г. Чебоксары (шифр 42), номер конструктивной разработки 04.

#### § 4. СИСТЕМЫ ПРИБОРОВ

**Приборы магнитоэлектрической системы.** Принцип работы электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии тока, протекающего по обмотке подвижной катушки, с магнитным полем постоянного магнита. Основными деталями магнитоэлектрических приборов (рис. 49) являются постоянный магнит 4 и подвижная рамка (катушка) 7, через которую проходит измеряемый ток. Протекая по обмотке катушки, ток взаимодействует с магнитным потоком постоянного магнита,

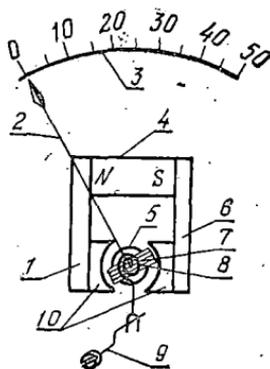


Рис. 49. Схема устройства прибора магнитоэлектрической системы:

1 и 6 — магнитопроводы; 2 — указательная стрелка; 3 — шкала; 4 — постоянный магнит; 5 — неподвижный стальной цилиндр; 7 — подвижная рамка (катушка) с обмоткой; 8 — противодействующая пружина; 9 — корректор; 10 — полюсные накладки.

вследствие чего создаются силы, стремящиеся повернуть катушку в направлении, определяемом правилом левой руки.

Известно, что сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, определяется как произведение магнитной индукции поля  $B$  на ток  $I$ , активную длину проводника  $l$  и синус угла между направлением индукции и проводником с током:

$$F = BIl \sin \alpha. \quad (144)$$

Так как угол, образованный направлением магнитной индукции в зазоре и проводниками катушки, равен  $90^\circ$ , можно записать, что на проводник действует сила

$$F = BI l, \quad (145)$$

где активная длина проводника  $l$  равна высоте катушки  $h$ . Обозначив число проводников катушки  $W$ , а ширину катушки  $b$ , можно определить вращающий момент  $M_{\text{вр}}$ , действующий на катушку:

$$M_{\text{вр}} = BIhW \frac{b}{2}. \quad (146)$$

Так как индукция в узком воздушном зазоре распределена почти равномерно, можно считать, что вращающий момент приборов магнитоэлектрической системы прямо пропорционален току:

$$M_{\text{вр}} = K_{\text{вр}} I, \quad (147)$$

где  $K_{\text{вр}}$  — коэффициент, равный произведению  $BhbW$ .

Поворачиваясь, катушка закручивает пружину  $\delta$ , которая создает противодействующий момент. Катушка остановится, когда вращающий момент станет равным противодействующему моменту. Если увеличить ток, то катушка повернется еще на какой-то угол и остановится в новом положении. Следовательно, каждому новому значению тока соответствует свое положение катушки. Это дает возможность проградуировать прибор, то есть нанести значения тока на шкале в амперах.

Приборы магнитоэлектрической системы применяют в цепях постоянного тока для измерения тока и напряжения; они обладают высокой чувствительностью и точностью, равномерностью шкалы и потребляют небольшую мощность.

**Приборы электромагнитной системы.** Принцип работы приборов электромагнитной системы основан на взаимо-

действию магнитного поля неподвижной катушки (соленоида) с сердечником из ферромагнитного материала, внесенным в это поле (рис. 50).

Основные детали приборов электромагнитной системы — неподвижная катушка 1 и подвижный сердечник из ферромагнитного материала 8.

Благодаря простоте конструкции приборы этой системы получили широкое распространение как щитовые приборы классов точности 1,5 и 2,5. Втягивание подвижной части в соленоид не зависит от направления тока в обмотке, поэтому

приборы электромагнитной системы могут быть использованы для измерения в цепях постоянного и переменного тока.

Вращающий момент, действующий на подвижную часть прибора, пропорционален квадрату тока

$$M_{вр} = cI^2, \quad (148)$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от числа витков катушки, материала, формы сердечника и его положения относительно неподвижной катушки.

**Приборы электродинамической системы.** Работа приборов электродинамической системы (рис. 51) основана на принципе взаимодействия магнитных полей двух катушек (рамок), по которым течет ток. Одна из них 2 — неподвижна, а другая 1 — подвижна. Катушки могут быть различной формы. Наиболее распространены круглые и прямоугольные катушки. Это обстоятельство исключает возникновение различного рода погрешностей, связанных с появлением вихревых токов, гистерезисом и т. п., которые в цепях переменного тока трудно компенсировать. Такая особенность электродинамических приборов делает их наиболее

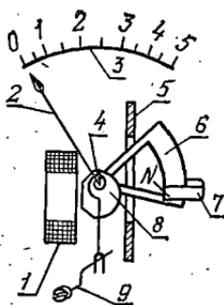


Рис. 50. Схема устройства прибора электромагнитной системы:

1 — неподвижная катушка; 2 — указательная стрелка; 3 — шкала; 4 — противодействующая пружина; 5 — магнитный экран; 6 — магнитно-индукционный успокоитель; 7 — ферромагнитный подвижный сердечник; 8 — корректор.

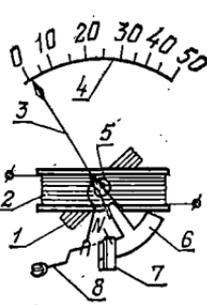


Рис. 51. Схема устройства прибора электродинамической системы:

1 — подвижная катушка; 2 — неподвижная катушка; 3 — указательная стрелка; 4 — шкала; 5 — противодействующая пружина; 6-7 — магнитно-индукционный успокоитель; 8 — корректор.

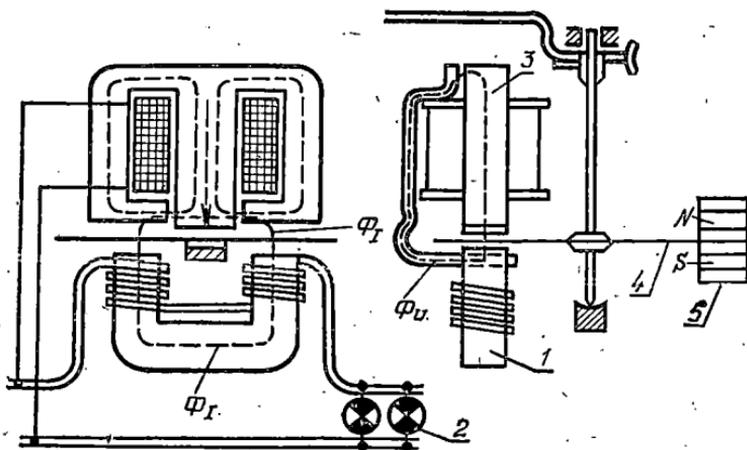


Рис. 52. Схема устройства прибора индукционной системы:  
 $\Phi_U$  — магнитный поток, создаваемый током в цепи напряжения;  $\Phi_I$  — магнитный поток, создаваемый током нагрузки; 1—3 — электромагниты; 2 — нагрузка; 4 — алюминиевый диск; 5 — тормозной магнит.

лее точными из всех известных и применяемых в настоящее время систем для измерения на переменном токе.

Электродинамические приборы изготовляют главным образом в виде переносных приборов высокой точности: классов 0,1; 0,2 и 0,5.

**Приборы индукционной системы.** Принцип работы приборов индукционной системы основан на взаимодействии одного или нескольких переменных магнитных потоков, созданных неподвижными катушками, с токами, индуцированными в подвижной части. Эти приборы применяют для измерения в цепях переменного тока. Основными деталями приборов индукционной системы являются магнитопроводы из листовой электротехнической стали, неподвижные катушки и алюминиевый диск. На базе механизмов индукционных систем построены счетчики электрической энергии, реже встречаются ваттметры.

Схема прибора индукционной системы с диском показана на рисунке 52. Вращающий момент создается двумя переменными, не совпадающими между собой по фазе магнитными потоками  $\Phi_I$  и  $\Phi_U$ , которые пронизывают диск прибора, и токами, индуцированными в диске этими потоками.

**Измерение электрического тока.** Для измерения электрического тока служат приборы, называемые амперметрами. Включение амперметра не должно умень-

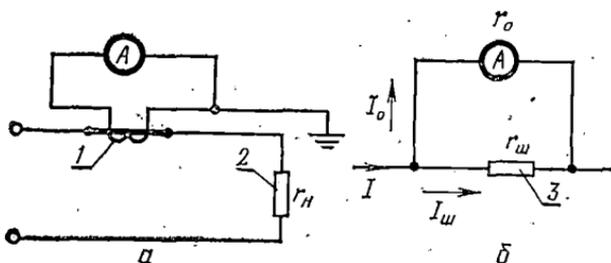


Рис. 53. Схемы включения амперметра в электрическую цепь:

*а* — через трансформатор тока; 1 — трансформатор; 2 — нагрузка; *б* — с шунтом; 3 — шунт.

шать силу измеряемого тока, поэтому сопротивление измерительного механизма выполняют возможно малым. Качество измерения тока зависит от правильного выбора системы амперметра и знания факторов, влияющих на показания амперметров различных систем, поэтому рассмотрим особенности измерения тока приборами различных систем.

Амперметры магнитоэлектрической системы предназначены для измерения постоянного тока. Ток, который можно пропустить через токопроводящие пружины и обмотку рамки измерительного механизма амперметра магнитоэлектрической системы, обычно не превышает 20...30 мА, поэтому непосредственно использовать эти амперметры можно только как микро- и миллиамперметры. Амперметры электромагнитной системы предназначены для измерения постоянного и переменного тока.

Для расширения пределов при измерениях на переменном токе используют измерительные трансформаторы (рис. 53). Они состоят из замкнутого сердечника, набранного из тонких пластин специальной трансформаторной стали, и двух обмоток, изолированных друг от друга и размещенных на сердечнике. Первичная обмотка измерительного трансформатора тока всегда включена в измеряемую цепь последовательно, и поэтому по ней проходит весь измеряемый ток. Ко вторичной обмотке присоединяют измерительные приборы. В основном номинальная величина вторичного тока в трансформаторах тока при номинальном токе в первичной цепи принята равной 5 А (реже 1 А). Для расширения пределов при измерениях в цепях постоянного тока применяют шунты — электрическое сопротивление,

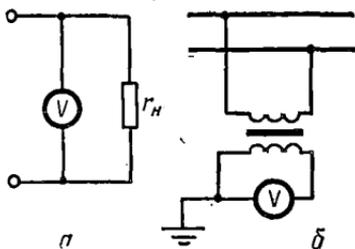


Рис. 54. Схемы включения вольтметра:

а — параллельно с нагрузкой  $r_n$ ;  
 б — через измерительный трансформатор.

подключаемое параллельно электроизмерительному прибору.

**Измерение напряжения.** Для измерения напряжения служат приборы, называемые вольтметрами. Вольтметры всегда включают между теми точками цепи, напряжение между которыми необходимо измерить. Устройство вольтметра сходно с устройством амперметра, различие состоит лишь в том, что катушка вольтметра имеет большее число витков проволоки и обладает большим сопротивлением. Это делается для того, чтобы ограничить ток, протекающий через катушку вольтметра (рис. 54).

Напряжение в цепях постоянного тока можно измерять вольтметрами магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической систем.

**Измерение напряжения в цепях переменного тока.** Напряжение в цепях переменного тока можно измерять вольтметрами всех систем, за исключением магнитоэлектрической.

Для расширения пределов измерения вольтметров в цепях переменного тока применяют специальные измерительные трансформаторы напряжения, а также добавочные сопротивления.

**Измерение мощности.** Измерение мощности в цепях постоянного тока. Мощность постоянного тока равна произведению силы тока на напряжение и выражается формулой  $P=UI$ . Следовательно, мощность можно вычислить по показаниям амперметра и вольтметра (рис. 55).

**Измерение активной мощности в цепях трехфазного переменного тока.** Мощность в трехфазной сети можно измерять различными методами в зависимости от способа соединения нагрузки. Чаще всего используют трехфазные ваттметры.

Трехфазные ваттметры для подключения к измеряемой сети имеют семь зажимов (рис. 56).

Две пары зажимов  $I_1$  и  $I_2$  предназначены для подключения к двум

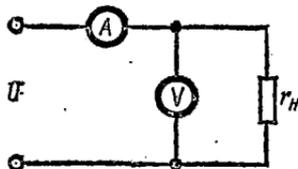


Рис. 55. Схемы измерения мощности вольтметром и амперметром.

трансформаторам тока; остальные три —  $A$ ,  $B$  и  $C$  служат для подключения напряжения соответствующих фаз сети.

Включение таких ваттметров в сеть с напряжением, большим, чем напряжение, на которое рассчитан ваттметр, осуществляется через трансформатор напряжения.

### Измерение сопротивлений.

Для измерения сопротивлений предназначены о м м е т р ы. Омметр служит для непосредственного измерения величины сопротивления и представляет собой переносный однопредельный или многопредельный прибор с измерителем магнитноэлектрической или ферродинамической системы, шкала которого отградуирована в омах.

Принципиальная схема многопредельного омметра представлена на рисунке 57. Показания такого омметра будут верны только в том случае, если напряжение, подаваемое на него, соответствует напряжению, при котором градуировалась шкала, в омах.

Измерение сопротивлений на постоянном токе вольтметром и амперметром. Способ измерения сопротивлений на постоянном токе вольтметром и амперметром может быть применен для измерения различных по величине сопротивлений. Несмотря на относительно большую погрешность измерения (до 1%), этот способ нашел широкое применение в практике вследствие того, что

по измеряемому сопротивлению можно пропускать такой же ток,

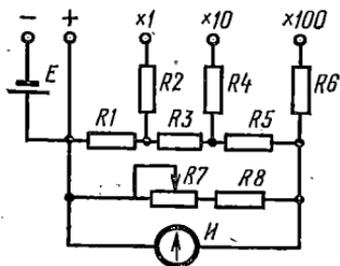


Рис. 57. Принципиальная схема омметра.

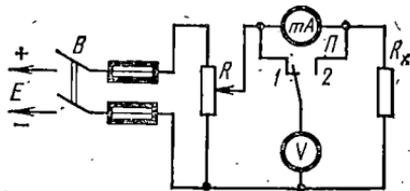


Рис. 58. Принципиальная схема измерения сопротивлений вольтметром и амперметром.

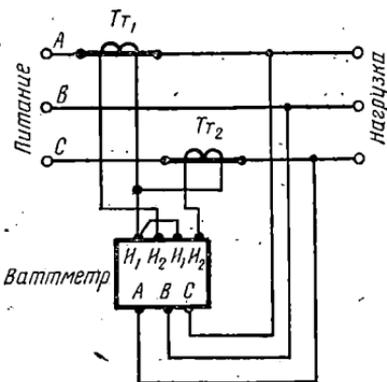


Рис. 56. Схема подключения трехфазного ваттметра.

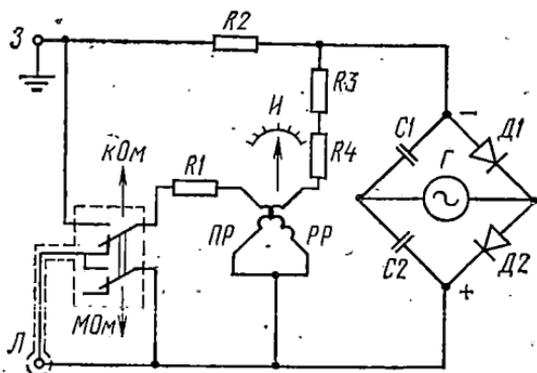


Рис. 59. Принципиальная электрическая схема мегомметра.

как и при рабочем режиме, а это очень важно при измерениях сопротивлений, значения которых зависят от тока. Данным способом можно измерять сопротивления и в рабочем состоянии, например, сопротивление обмоток ротора работающего генератора (рис. 58).

Для измерения больших сопротивлений, преимущественно при испытаниях изоляции установок, применяют мегомметры. Принципиальная электрическая схема мегомметра изображена на рисунке 59.

Измерителем мегомметра является двухрамочный прибор логометр, принцип действия которого заключается в измерении отношения двух токов. Источником тока служит небольшой генератор, приводимый во вращение вручную и позволяющий развивать, например, в мегомметре

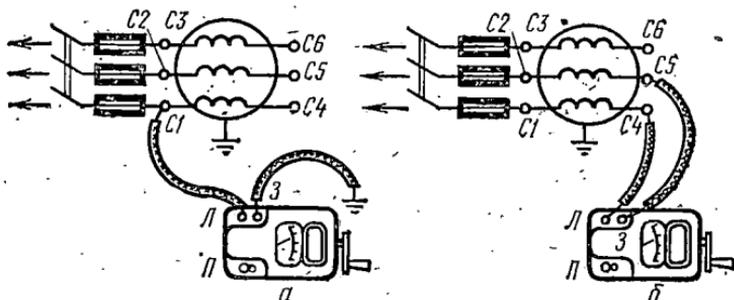


Рис. 60. Схема измерения сопротивления изоляции электро-двигателя мегомметром:

а — относительно земли; б — между обмотками.

типа М1101 напряжение 500 В при частоте вращения рукоятки 2 об/с. Мегомметры типа М1101 изготовляют на напряжение 100, 500 и 1000 В.

Большим преимуществом мегомметра является то, что его показания не зависят от подаваемого на прибор напряжения.

Схема присоединения мегомметра к обмоткам электродвигателей при измерении сопротивления изоляции приведена на рисунке 60.

## **§ 5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Электрические измерения неэлектрических величин сводятся к тому, что неэлектрическая величина преобразуется в зависимую от нее электрическую величину, измеряя которую, можно определить искомую неэлектрическую величину. Отсчет при этом проводят по стрелке и шкале, градуированной в значениях тех величин, которые нужно измерить.

Для измерения электрическим методом неэлектрических величин требуется измерительный преобразователь (в дальнейшем будем его называть просто преобразователем), то есть устройство, которое преобразует измеряемую неэлектрическую величину в измеряемую электрическую.

Использование электрических приборов значительно расширяет возможности измерения неэлектрических величин и часто является единственно возможным для этого способом.

Электрические приборы в сочетании с преобразователем для измерения неэлектрических величин позволяют легко осуществлять:

дистанционные измерения, то есть определение значения контролируемой величины на значительных расстояниях от объекта измерения;

автоматическое управление и регулирование;

регистрацию как очень медленно, так и быстро меняющихся величин.

Имеется много разновидностей электрических приборов для измерения неэлектрических величин. Приведем краткий перечень групп неэлектрических величин, которые измеряют электрическими приборами:

1) тепловые величины — температура, количество тепла;

2) механические и геометрические величины — сила, моменты сил, давление, перемещение, скорость, размеры, расход, уровень жидкости;

3) промежутки времени;

4) состав и свойства веществ, материалов и т. д.

Все приборы первичной информации построены на различных принципах в зависимости от условий их использования, необходимой точности и принятой схемы автоматического управления.

Рассмотрим принцип построения приборов первичной информации (преобразователей) и конструкции некоторых из них. Различают два типа преобразователей:

параметрические, в которых выходной величиной является параметр электрической цепи — сопротивление, емкость, индуктивность;

генераторные, в которых выходной величиной является э. д. с.

К параметрическим преобразователям относят реостатные, тензочувствительные (проволочные), термочувствительные, электролитические, индуктивные, емкостные. К генераторным преобразователям относят термоэлектрические, индукционные, пьезоэлектрические.

**Параметрические преобразователи.** Реостатные преобразователи, как показывает само название, представляют собой реостат, щетка которого перемещается под воздействием измеряемой неэлектрической величины (рис. 61).

Устройство термочувствительных преобразователей основано на зависимости электрического сопротивления проводника (полупроводника) от температуры (табл. 2).

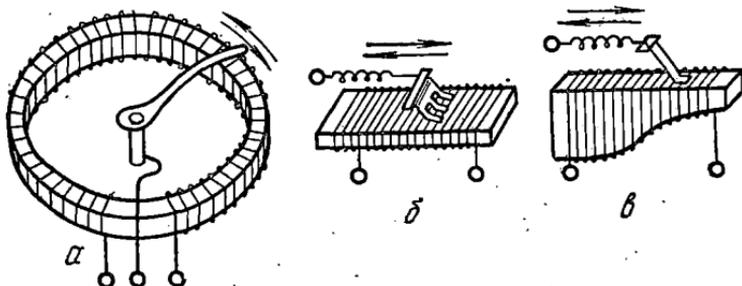


Рис. 61. Реостатные преобразователи

*a* — для угловых перемещений щетки; *б* — для линейных перемещений щетки с пропорциональным изменением выходного сигнала; *в* — для линейных перемещений щетки с непропорциональным изменением выходного сигнала.

Таблица 2. Технические данные термометров типа ТСМ

Тип термометра	Сопротивление при 0°C, Ом	Условное обозначение градуировки	Диапазон измеряемых температур	Отношение сопротивлений $R_{100}/R_0$
ТСМ	53	23	-50...+180	1,426
ТСМ	100	24	-50...+180	1,426
ТСП	10	20	0...+650	1,391
ТСП	46	21	-200...+500	1,391
ТСП	100	22	-200...+500	1,391

Если через такой преобразователь, или, как его иначе называют, терморезистор, пропустить электрический ток, то в нем начнет выделяться тепло. Установившаяся температура терморезистора будет зависеть от теплопроводности, температуры и других физических свойств среды, в которой находится терморезистор. При изменении какого-либо параметра среды, например температуры, нарушится тепловой баланс и температура преобразователя изменится. Это повлечет за собой изменение его сопротивления и, следовательно, выходного параметра — тока в цепи (рис. 62, 63).

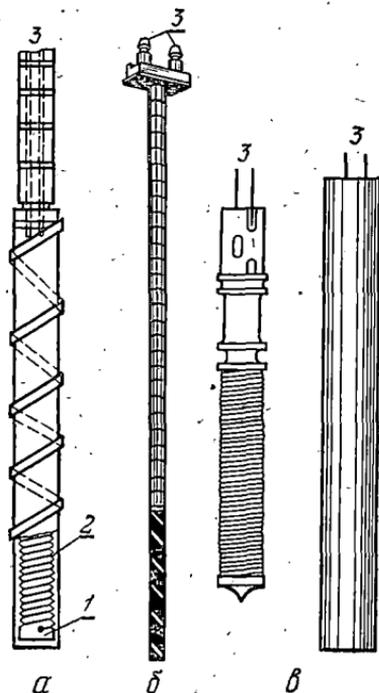


Рис. 62. Термометры сопротивления:

*a*, *б* — платиновый; *в* — медный; *1* — изоляционный каркас; *2* — обмотка; *3* — выводы.

Генераторные преобразователи. Генераторные преоб-

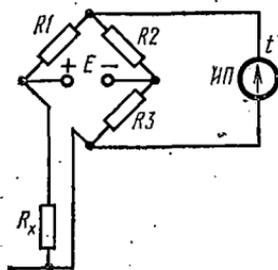


Рис. 63. Мостовая схема измерения температуры:

$R_1$ — $R_3$  — сопротивления плеч моста;  $R_x$  — сопротивление термометра; ИП — измерительный прибор;  $E$  — источник питания.

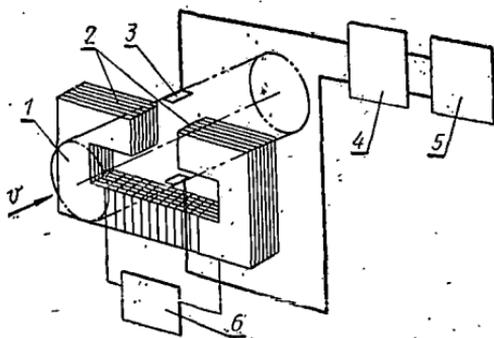


Рис. 64. Принципиальная схема индукционного расходомера:

1 — трубопровод с проводящей жидкостью; 2 — полюса магнита; 3 — электроды; 4 — электронный усилитель; 5 — измерительный прибор; 6 — источник питания катушки магнита.

разователи не требуют для своей работы постороннего источника электрической энергии; в них используют превращение неэлектрической энергии в электрическую, которая питает измерительное устройство. Рассмотрим некоторые генераторные преобразователи.

Термоэлектрические преобразователи (термопары) основаны на возникновении э. д. с. на свободных концах термопары под действием разности температур между этими концами и местом спая, помещаемым в измеряемую среду. Термопары представляют собой соединение двух разнородных проводников, одну пару концов которых оставляют свободной, а другую пару сваривают в общую точку. Термопары изготовляют из специальных сплавов, предусмотренных ГОСТ 6616—61.

Индукционные преобразователи основаны на возникновении э. д. с. в катушке при пересечении ее витками магнитного поля. Эти преобразователи применяют преимущественно в приборах для измерения частоты вращения, расходомерах (рис. 64).

Из промышленных приборов для измерения неэлектрических величин можно назвать логометр профильный типа ЛПр-53М и логометр малогабаритный типа ЛМ-06 для измерения температуры, преобразователем у которых является электрический термометр сопротивления, магнитные тахометры типа ТМ для измерения частоты вращения от 0 до 50 об/с, преобразователем у которых служит вращающийся постоянный магнит.

## Лабораторная работа 6

### Электрические измерения и приборы

**Цель работы.** Ознакомиться с устройством, принципом действия и схемами включения электроизмерительных приборов: амперметра, вольтметра, мегомметра и генераторных преобразователей (тахометра).

**Оборудование.** 1) Источники переменного и постоянного напряжения. 2) Электроизмерительные приборы: вольтметр, амперметр, мегомметр, тахометр ручной и электрический. 3) Электродвигатель с регулируемой частотой вращения. 4) Набор сопротивлений.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с техническими характеристиками, принципом действия и конструкцией вольтметра, амперметра, мегомметра.

2. Зафиксировать основные технические данные приборов.

3. Собрать схему для измерения напряжения источника питания, измерить напряжение питания.

4. Собрать схему для измерения силы тока. Измерить силу тока при параллельном и последовательном соединении сопротивлений.

5. Собрать схему для измерения сопротивления изоляции электродвигателя. Провести измерения.

6. Ознакомиться с устройством электрического тахометра.

7. Замерить частоту вращения электродвигателя ручным и электрическим тахометрами. Записать и сравнить показания.

8. Подготовить отчет о работе, привести в нем электрические схемы выполненных измерений.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите методы измерений и дайте им определения.

2. Что такое погрешность и какие бывают погрешности?

3. Назовите системы приборов и объясните принцип их действия.

4. Назовите погрешности измерений.

5. Какими приборами измеряют ток? Как их подключают для измерений?

6. Какими приборами измеряют напряжение? Как их подключают для измерений?

7. Какими приборами можно измерить мощность?

8. Какие приборы служат для измерения сопротивлений?

9. Назовите основные принципы электрических измерений неэлектрических величин.

10. Перечислите основные способы измерения температуры.

## **Глава VI. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

### **§ 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Принцип действия машин постоянного тока — генераторов и двигателей — основан на явлении электромагнитной индукции и явлении взаимодействия проводника, по которому проходит ток, с магнитным полем.

Следует заметить, что машины постоянного тока, как и электрические машины вообще, обладают свойством обратимости; то есть каждая машина может работать и в генераторном, и в двигательном режиме.

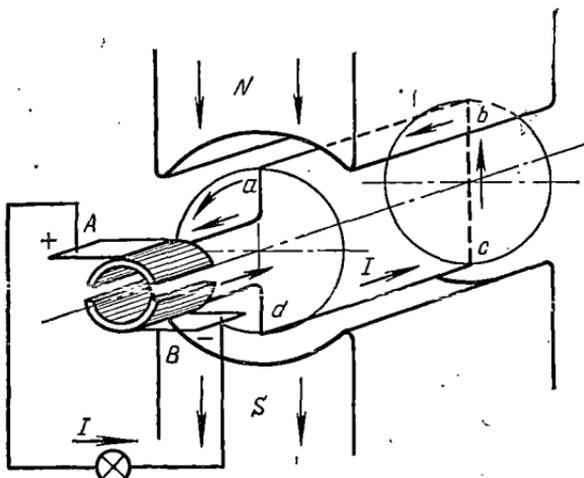


Рис. 65. Схема машины постоянного тока с одним витком.

Рассмотрим принцип действия генератора постоянного тока. Между двумя магнитными полюсами  $N$  и  $S$  (рис. 65) помещен виток  $abcd$ , концы которого присоединены к двум изолированным полукольцам. Эти полукольца представляют собой простейший коллектор, предназначенный для выпрямления переменного тока. На полукольца наложены неподвижные щетки  $A$  и  $B$ , к которым присоединена внешняя цепь (нагрузка генератора).

При вращении витка вместе с полукольцами в его активных сторонах  $ab$  и  $cd$  индуцируется синусоидальный ток, но благодаря коллектору и щеткам ток во внешней части цепи будет пульсирующим, то есть неизменным по направлению (рис. 66).

Принцип выпрямления переменного тока при помощи коллектора заключается в следующем. В момент, когда виток занимает вертикальное положение, как показано на рисунке 65, в верхней его стороне  $ab$  э. д. с. направлена от  $b$  к  $a$ , а в нижней стороне — от  $d$  к  $c$ .

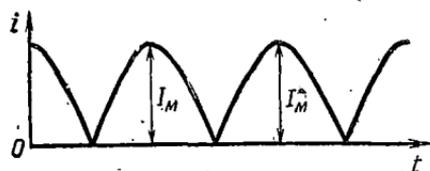


Рис. 66. График выпрямленного тока генератора с одним витком.

Во внешней части цепи будет протекать ток от щетки  $A$  к щетке  $B$ . Следовательно, щетка  $A$  имеет полярность «плюс», а щетка  $B$  — «минус».

После того как виток делает четверть оборота и стороны витка  $ab$  и  $cd$  расположатся на нейтральной линии, э. д. с. витка станет равной нулю. При дальнейшем движении каждая из сторон витка пересекает магнитное поле в другом направлении и э. д. с. в витке изменит направление на обратное. Однако направление тока во внешней цепи останется прежним, потому что в тот же самый момент, когда стороны витка проходят в зону действия поля другого знака, меняются и полукольца (коллекторные пластины) под щетками, то есть щетки передвигаются с одного полукольца на другое.

Таким образом, под щеткой  $A$  всегда находится полукольцо, которое соединено с проводником, расположенным под северным магнитным полюсом, а под щеткой  $B$  — полукольцо, которое соединено с проводником, расположенным под южным магнитным полюсом. Поэтому полярность щеток остается неизменной, и ток во внешней цепи течет в одном направлении — от щетки  $A$  к щетке  $B$ . Щетки на коллекторе устанавливают так, чтобы в момент перехода их с одной пластины на другую э. д. с. в витке была равна нулю.

С целью уменьшения пульсации тока применяют обмотку из нескольких витков, сдвинутых относительно друг друга в пространстве, причем каждый из них присоеди-

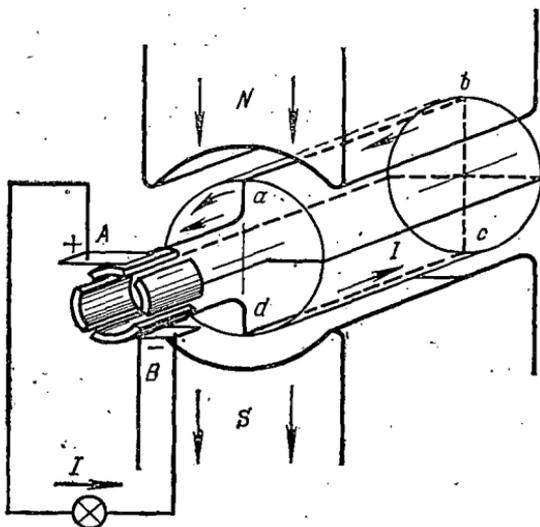


Рис. 67. Модель машины постоянного тока с двумя витками,

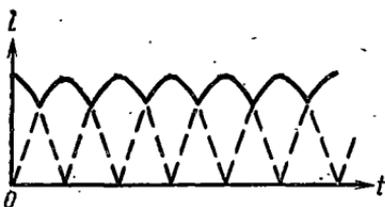


Рис. 68. График выпрямленного тока генератора с двумя витками.

нен к своей паре полуколец (коллекторных пластин). Так, например, даже для генератора с двумя витками (рис. 67), сдвинутыми в пространстве на  $90^\circ$ , пульсация тока заметно уменьшается (рис. 68). При достаточно большом числе витков ток практически становится постоянным по величине и направлению.

Электродвижущую силу  $E$  (В) генератора постоянного тока определяют по формуле

$$E = cn\Phi, \quad (149)$$

где  $c$  — постоянная величина машины;  
 $n$  — частота вращения якоря, об/мин;  
 $\Phi$  — магнитный поток, Вб.

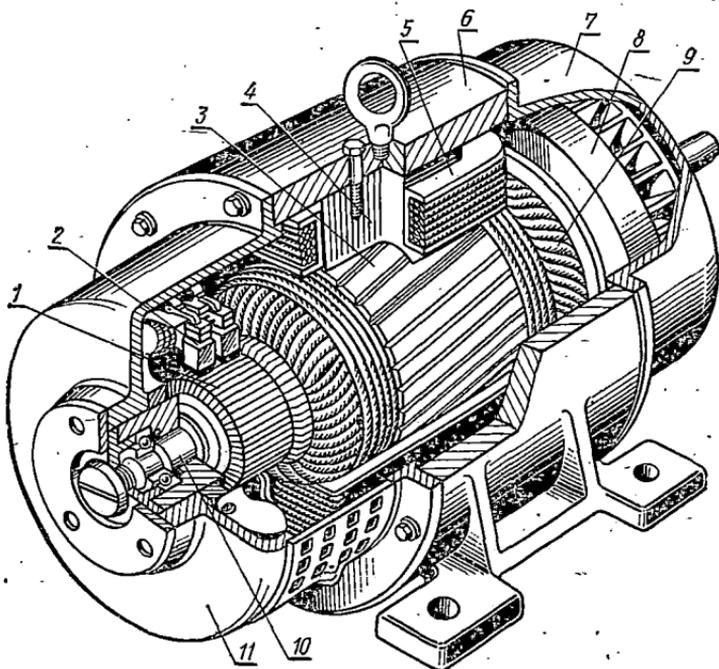


Рис. 69. Устройство электрической машины постоянного тока:  
 1 — коллектор; 2 — щетки; 3 — сердечник якоря; 4 — сердечник главного полюса; 5 — полюсная катушка; 6 — станина; 7 и 11 — подшипниковые щиты; 8 — вентилятор; 9 — обмотка якоря; 10 — вал якоря.

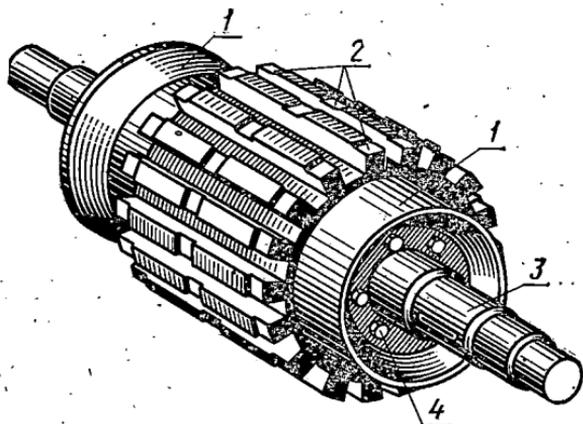


Рис. 70. Якорь без обмотки:

1 — нажимная шайба; 2 — место для бандажа; 3 — место для коллектора; 4 — болт.

Следовательно, э. д. с. генератора зависит от частоты вращения и магнитного потока. Поэтому регулировать э. д. с. генератора можно, изменяя эти величины. На практике э. д. с. генератора регулируют, изменяя силу тока в цепи возбуждения.

Рассмотрим устройство электрической машины постоянного тока (рис. 69). Она состоит из двух основных частей: неподвижной — статора и вращающейся — якоря.

Статор представляет собой станину 6, на внутренней поверхности которой укреплены сердечники главных полюсов 4 с полюсными катушками 5 и добавочные полюса.

Главные полюса служат для создания основного магнитного потока, а добавочные — для создания дополнительного потока.

К бокам станины болтами прикреплены подшипниковые щиты 7 и 11, в которых установлены подшипники вала якоря.

Якорь состоит из вала 10, сердечника 3, обмотки 9 и коллектора 1.

Сердечник якоря (рис. 70) набирают из отдельных листов электротехнической стали (рис. 71), изолированных друг от друга для уменьшения потерь от вихревых токов. Листы сердечника плотно стянуты при

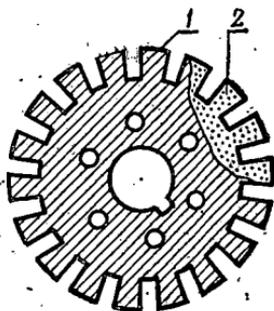


Рис. 71. Стальной лист якоря:

1 — сталь; 2 — изоляция.

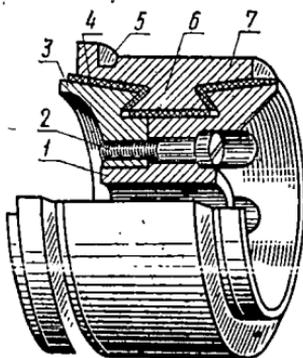


Рис. 72. Коллектор:

1 — корпус коллектора; 2 — стяжной болт; 3 — нажимное кольцо; 4 — изоляция; 5 — «петушок»; 6 — «ласточкин хвост», 7 — пластины.

помощи болтов 4 и нажимных шайб 1. В собранном состоянии по оси сердечника образуется цилиндрическое отверстие для вала, а на поверхности сердечника — продольные пазы, в которые укладывают обмотку якоря.

Обмотку якоря, изготовленную из изолированного медного провода, образуют секции, которые соединяют между собой последовательно, причем каждую секцию двумя концами припаивают к пластинам коллектора. К каждой коллекторной пластине припаивают конец одной секции и начало другой. Обмотку в пазах укрепляют клиньями или бандажами.

Секция состоит из нескольких витков, стороны которых располагают так, чтобы одна из них лежала под северным полюсом, а другая — под южным.

К о л л е к т о р -генератора постоянного тока служит для преобразования переменного тока в постоянный и для электрического соединения вращающейся обмотки якоря с внешней сетью при помощи неподвижных щеток 2 (см. рис. 69).

Коллектор (рис. 72) изготовляют из медных пластин 7, которые изолируют друг от друга и от втулки миканитовой изоляцией 4. Выступающую часть 5 коллекторной пластины называют петушком, к ней припаивают концы секций обмотки якоря. Пластины коллектора имеют в нижней части выступ 6, напоминающий форму ласточкина хвоста. При сборке коллектора эти выступы зажимают между корпусом коллектора 1 и нажимным кольцом 3 и закрепляют стяжными болтами 2.

В а л якоря изготовляют из высокосортной стали. На нем укрепляют сердечник якоря с обмоткой, коллектор, опорные подшипники, вентилятор, шкив или соединительную муфту.

Вентилятор предназначен для создания воздушного потока, охлаждающего машину.

При помощи шкива или муфты машину постоянного тока соединяют с первичным двигателем (если она служит генератором) или рабочей машиной (когда она является двигателем).

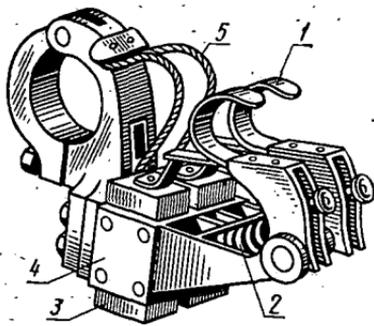


Рис. 73. Щеткодержатель:

1 — нажимные пластины; 2 — пружины;  
3 — щетка; 4 — обойма; 5 — тросик.

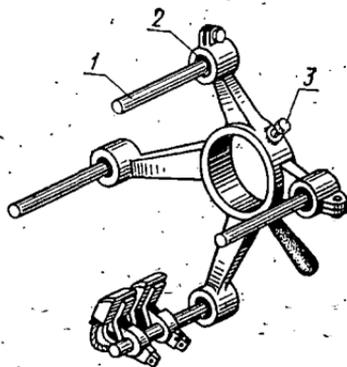


Рис. 74. Щеточная траверса:

1 — щеточный палец; 2 — втулка;  
3 — стопорный болт.

Щетки создают электрический контакт с поверхностью коллектора. Их располагают и закрепляют в щеткодержателях (рис. 73). Щетки 3, установленные в обоймы 4 щеткодержателей, прижимаются к коллектору нажимными пластинами 1 при помощи пружины 2. Ток от щетки отводится гибким медным тросиком 5.

Щеткодержатели укрепляют на пальцах 1 траверсы (рис. 74), которые изолируют от корпуса машины при помощи втулки 2. Траверсу крепят к подшипниковому щиту стопорным болтом 3. Поворачивая траверсу на некоторый угол, изменяют положение щеток на коллекторе.

На станине или на переднем подшипниковом щите располагают панель (клеммный щиток), куда выводят концы обмоток. Выводы, согласно ГОСТ 183—66; маркируют следующим образом: обмотка якоря — Я1 и Я2, обмотка возбуждения параллельная — Ш1 и Ш2, обмотка возбуждения последовательная — С1 и С2, обмотка добавочных полюсов — Д1 и Д2. Цифрой 1 обозначают начала обмотки, а цифрой 2 — концы.

К станине машины прикрепляют табличку (паспорт), где указаны все необходимые номинальные данные машины.

## § 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Генераторы постоянного тока с электромагнитным возбуждением разделяют на генераторы независимого возбуждения (рис. 75; а), в которых обмотка возбуждения питается от постороннего источника тока

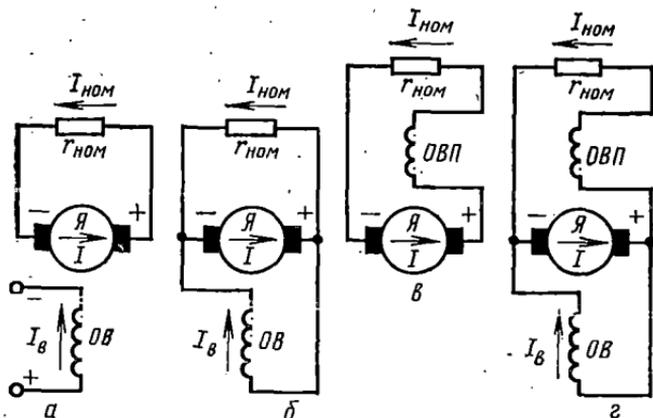


Рис. 75. Схемы возбуждения генераторов:  
 а — независимое; б — параллельное; в — последовательное; г — смешанное.

(аккумуляторной батареи или другой машины постоянного тока), и генераторы с самовозбуждением, в которых обмотка возбуждения получает питание непосредственно от самого генератора.

В свою очередь, среди генераторов с самовозбуждением, получивших преимущественное распространение, в зависимости от схемы включения обмотки возбуждения различают:

*генераторы с параллельным возбуждением* (рис. 75, б): у них обмотка возбуждения включена параллельно обмотке якоря;

*генераторы с последовательным возбуждением* (рис. 75, в): здесь обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря;

*генераторы со смешанным возбуждением* (рис. 75, г): у них две обмотки возбуждения, одна из которых включена параллельно обмотке якоря, а другая — последовательно.

### § 3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Уже отмечалось, что электрические машины постоянного тока обратимы, то есть каждая машина может работать как генератором, так и двигателем. Поэтому устройство электродвигателей постоянного тока такое же, как генераторов.

Принцип действия электродвигателей постоянного тока основан на явлении взаимодействия проводника, по которому проходит ток, с магнитным полем.

Когда электродвигатель подключают к источнику электрической энергии постоянного тока, в его обмотках появляется ток. В результате взаимодействия этого тока и магнитного поля, создаваемого полюсами электромагнитов, на валу якоря возникает электромагнитный момент  $M$ , вращающий якорь двигателя. При вращении обмотка якоря пересекает магнитное поле и в ней индуцируется э. д. с.  $E_{\text{я}}$ , направленная противоположно току  $I_{\text{я}}$  в якоре и напряжению источника (сети), в чем легко убедиться, применяя правило правой руки. Поэтому э. д. с. индукции  $E_{\text{я}}$  называют *противоэлектродвижущей силой* (противо-э. д. с.) якоря.

Напряжение, приложенное к якору двигателя, уравновешивается противо-э. д. с. якоря и падением напряжения в обмотке якоря:

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} r_{\text{я}}. \quad (150)$$

Значение противо-э. д. с.  $E_{\text{я}}$  определяют по ранее приведенной формуле для э. д. с., наводимой в якорной обмотке генератора:

$$E_{\text{я}} = c n \Phi. \quad (151)$$

Решая эти уравнения относительно тока и частоты вращения, получим формулы, удобные для анализа свойств электродвигателей постоянного тока:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{r_{\text{я}}} = \frac{U - c n \Phi}{r_{\text{я}}} \quad (152)$$

и

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} r_{\text{я}}}{c \Phi}. \quad (153)$$

Электромагнитный (вращающий) момент двигателя постоянного тока

$$M = k \Phi I_{\text{я}}, \quad (154)$$

где  $k$  — постоянная величина машины.

В начальный момент пуска двигателя частота вращения якоря  $n=0$ , поэтому противо-э. д. с. также равна нулю и ток в якоре двигателя определяется соотношением

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U}{r_{\text{я}}}. \quad (155)$$

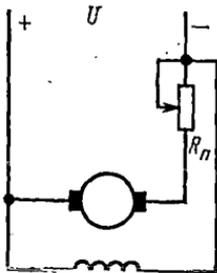


Рис. 76. Включение пускового реостата в цепь обмотки якоря двигателя.

Поскольку сопротивление обмотки якоря мало, ток в якоре в момент пуска становится очень большим, опасным для двигателя. С целью ограничения пускового тока в цепь обмотки якоря включают пусковой реостат (рис. 76), который подбирают с таким расчетом, чтобы снизить пусковой ток якоря до величины, примерно в два раза большей номинального тока.

По мере нарастания частоты вращения якоря и пропорциональной ей противо-э. д. с.  $E_k$  ток в якоре уменьшается, поэтому пусковой реостат следует плавно вывести. Когда частота вращения станет номинальной, пусковой реостат выключают полностью.

Для регулирования частоты вращения электродвигателя служит регулировочный реостат в цепи обмотки возбуждения. Чтобы изменить направление вращения якоря двигателя, достаточно изменить направление тока в обмотке возбуждения или в обмотке якоря.

По способу возбуждения электродвигатели постоянного тока, так же, как и генераторы, в соответствии со схемой включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря подразделяют на двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Электрические схемы включения этих двигателей аналогичны схемам включения генераторов, приведенным на рисунке 75.

По способу возбуждения электродвигатели постоянного тока, так же, как и генераторы, в соответствии со схемой включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря подразделяют на двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Электрические схемы включения этих двигателей аналогичны схемам включения генераторов, приведенным на рисунке 75.

## Лабораторная работа 7

**Испытание электродвигателей постоянного тока параллельного возбуждения**

**Цель работы.** Научиться пускать электродвигатель в ход, регулировать частоту вращения якоря, изменять направление вращения его, снимать основные характеристики (вызвать зависимость частоты вращения от тока возбуждения и момента, приложенного к валу двигателя).

**Оборудование и приборы.** 1) Два амперметра магнитоэлектрической системы. 2) Вольтметр. 3) Два реостата. 4) Тахометр. 5) Тормозное устройство. 6) Электродвигатель постоянного тока параллельного возбуждения. 7) Соединительные провода. 8) Источник постоянного тока. 9) Двухполюсный рубильник.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с приборами и оборудованием на рабочем месте. Записать их паспортные данные.

2. Составить и собрать схему для испытания электродвигателя параллельного возбуждения.

3. Подключить электродвигатель к источнику электрической энергии постоянного тока, предварительно полностью введя пусковой реостат и выключив реостат в цепи возбуждения. По мере возрастания частоты вращения якоря постепенно вывести пусковой реостат до конца. При холостом ходе выполнить опыт регулирования частоты вращения при помощи реостата, включенного в цепь обмотки возбуждения, и установить, как изменяется частота вращения якоря при изменении сопротивления в цепи возбуждения. Записать 5...6 показаний тахометра при различных значениях тока возбуждения двигателя.

4. По результатам опыта построить график зависимости частоты вращения якоря от тока возбуждения.

5. Остановить двигатель.

6. Изменить направление вращения якоря электродвигателя, поменяв местами концы одной из обмоток (якоря или возбуждения),

7. Создать на валу двигателя номинальный момент при постоянном номинальном напряжении. Одновременно установить номинальный ток возбуждения при помощи регулировочного реостата.

8. Не изменяя тока возбуждения и при постоянном напряжении, уменьшить нагрузку двигателя до нуля. При этом записать показания приборов при следующих значениях момента нагрузки:  $M_n$ ,  $0,75 M_n$ ,  $0,5 M_n$ ,  $0,25 M_n$  и 0.

9. По полученным данным построить график зависимости частоты вращения от момента на валу двигателя.

### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Объясните принцип действия генератора постоянного тока.
2. От чего зависит э. д. с. генератора постоянного тока?
3. Как устроена и из каких основных частей состоит машина постоянного тока?
4. Как маркируют выводы обмоток генератора постоянного тока?
5. Как классифицируют генераторы постоянного тока?
6. Изложите принцип действия электродвигателя постоянного тока.
7. Чем уравнивается напряжение, приложенное к якорю двигателя постоянного тока?
8. Что называется противо-э. д. с. якоря и от чего она зависит?
9. Напишите формулы для определения тока и частоты вращения якоря электродвигателя постоянного тока.
10. Объясните назначение пускового реостата в двигателях постоянного тока.

## **Глава VII. ТРАНСФОРМАТОРЫ**

### **§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА**

При передаче электрической энергии от электростанции к удаленным потребителям напряжение повышают до нескольких сотен тысяч вольт для уменьшения потерь энер-

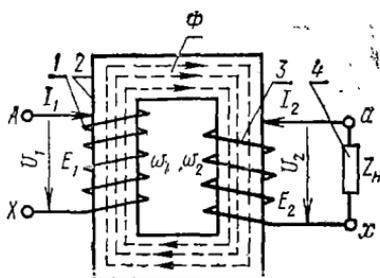


Рис. 77. Электромагнитная схема однофазного трансформатора; 1 — первичная обмотка; 2 — сердечник; 3 — вторичная обмотка; 4 — нагрузка.

вания (понижения или повышения) напряжения электрической энергии переменного тока той же частоты.

Простейший однофазный трансформатор (рис. 77) состоит из сердечника 2, набранного из отдельных листов электротехнической стали, на который намотаны две обмотки, изолированные друг от друга и от сердечника. Обмотку 1, подключаемую к источнику тока, называют *первичной*, а обмотку 3, к которой присоединяют нагрузку 4 (потребитель), — *вторичной*.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. Когда по первичной обмотке протекает переменный ток, в сердечнике возникает переменный магнитный поток  $\Phi$ , который пересекает витки обеих обмоток, индуцируя в первичной обмотке э. д. с. самоиндукции  $E_1$ , а во вторичной э. д. с. взаимной индукции  $E_2$ . При определенной частоте и неизменном магнитном потоке значение э. д. с. в каждой обмотке зависит от числа ее витков.

Отношение э. д. с. первичной обмотки к э. д. с. вторичной равно отношению числа их витков и называется *коэффициентом трансформации*:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (156)$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  — соответственно число витков первичной и вторичной обмотки.

В режиме холостого хода трансформатора, когда вторичная обмотка разомкнута ( $U_2 = E_2$ ) и падение напряжения в первичной обмотке мало ( $U_1 = E_1$ ), коэффициент

гии в проводах и снижения затрат на сооружение линий электропередачи.

На месте потребления (в колхозах и совхозах) высокое напряжение понижают до потребительского 380, 220 и 127 В.

Повышение и понижение напряжения осуществляют при помощи трансформаторов.

Трансформатор — это электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования

трансформации

$$\kappa = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (157)$$

Если напряжение вторичной обмотки больше, чем подведенное к первичной, трансформатор называют **повышающим** ( $\kappa < 1$ ), а когда вторичное напряжение меньше первичного — **понижающим** ( $\kappa > 1$ ).

Мощности в первичной и во вторичной обмотках примерно равны между собой:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2, \quad (158)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — соответственно токи в первичной и во вторичной обмотках.

Тогда коэффициент трансформации

$$\kappa = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}. \quad (159)$$

Из формулы видно, что токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны напряжениям и, следовательно, числам витков.

Поэтому обмотку высшего напряжения (ВН) делают из большего числа витков провода меньшего сечения, а обмотку низшего напряжения (НН) — из меньшего числа витков провода большего сечения.

Потери мощности в трансформаторе складываются из потерь  $P_M$  в проводах обеих обмоток и потерь  $P_{ст}$  в стали (на гистерезис и вихревые токи). Отношение активной мощности  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$  вторичной обмотки к активной мощности  $P_1 = P_2 + P_M + P_{ст}$  первичной обмотки называется коэффициентом полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_M + P_{ст}}. \quad (160)$$

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) трансформатора составляет 80...99%.

Трансформаторы различают:

по числу фаз — однофазные и трехфазные;

по числу обмоток на фазу — двухобмоточные и трехобмоточные;

по назначению — силовые (предназначенные для передачи и распределения электрической энергии) и специальные (сварочные, измерительные, автотрансформаторы);

по способу охлаждения — с воздушным (мощностью до 10 кВ·А) и масляным охлаждением.

## § 2. ОДНОФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Для электроснабжения небольших однофазных потребителей применяют однофазные силовые трансформаторы типа ОМС и ОМ мощностью от 4 до 25 кВ·А с высшим напряжением от 6 до 35 кВ и низшим  $2 \times 220$  В.

Низшее напряжение подается потребителям по трем проводам. Третий провод отводят от средней заземленной точки вторичной обмотки; напряжение 440 В между концами обмотки используют для питания однофазных двигателей, а напряжение 220 В между концами обмотки и средней точкой — для освещения и других целей.

Питание ламп местного освещения и контрольно-измерительной аппаратуры осуществляется от трансформаторов типа ТОСБ (однофазный, сухой, с сердечником броневое типа), ОС и ОСО (однофазный, сухой, осветительный).

## § 3. ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Преобразование трехфазного напряжения осуществляется в основном трехфазными трансформаторами, которые состоят из трехстержневого магнитопровода *1* (рис. 78). На каждом стержне размещены две обмотки низшего *2* и высшего *3* напряжения, принадлежащие одной фазе. Процессы, происходящие в каждой фазе трехфазного трансформатора, ничем не отличаются от процессов в однофазном трансформаторе.

Начала фазных обмоток высшего напряжения обозначают латинскими буквами *A, B, C*, низшего напряжения — *a, b, c*, а концы фазных обмоток — соответственно *X, Y, Z* и *x, y, z*.

Магнитопровод с обмотками помещают в металлический бак *5*, заполненный специальным маслом, благодаря чему создаются лучшие условия изоляции и охлаждения обмоток. Сверху бак закрывают крышкой, на которой размещены фарфоровые изоляторы высшего *9* и низшего *10* напряжения, расширительный бачок *12* с маслоуказателем *13*, термометр *8*, пробка *11* маслозаливного отверстия и привод переключателя *7*.

При помощи переключателя числа витков высшего напряжения изменяют коэффициент трансформации в пределах  $\pm 5\%$  номинального напряжения ступенями по  $2,5\%$  и тем самым поддерживают напряжение у потребителя, близкое к номинальному.

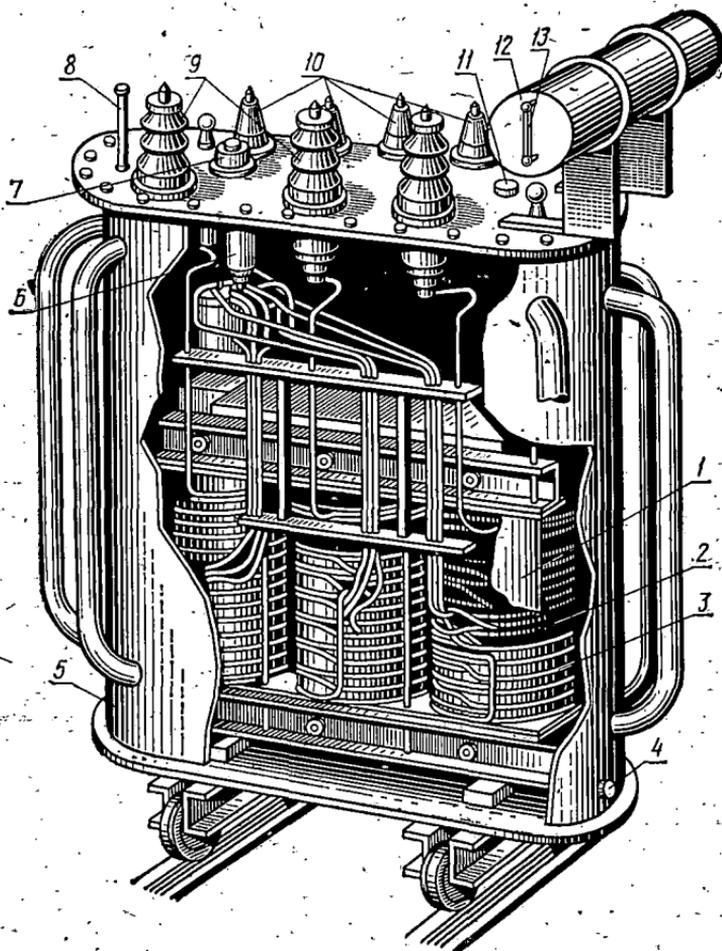


Рис. 78. Трехфазный силовой трансформатор:

1 — магнитопровод; 2 — обмотка низшего напряжения; 3 — обмотка высшего напряжения; 4 — пробка для спуска масла; 5 — бак; 6 — переключатель напряжения; 7 — привод переключателя; 8 — термометр; 9 — вводы высшего напряжения; 10 — вводы низшего напряжения; 11 — пробка для заливки масла; 12 — расширительный бачок; 13 — маслоуказатель.

Обмотки высшего и низшего напряжения соединяют по различным схемам и группам, из которых наибольшее распространение получили «звезда — треугольник — одиннадцать» ( $Y/\Delta-11$ ), «звезда — звезда с нулем — двенадцать» и «звезда — зигзаг с нулем — одиннадцать», изображенные на рисунке 79. В приведенных обозначениях числи-

Обмотка	Схема и группа соединения		
Высшего напряжения (ВН)	$Y/Y-12$	$Y/\Delta-11$	$Y/Y-11$
Низшего напряжения (НН)			

Рис. 79. Распространенные схемы соединения обмоток силовых трансформаторов.

тель показывает схему соединения обмоток высшего (ВН), знаменатель низшего (НН) напряжения, а цифры — группу соединения, то есть угол сдвига фаз между линейными э. д. с. обеих обмоток (12 — сдвиг фаз равен нулю, 11 — сдвиг равен  $330^\circ$  и т. д.).

В паспорте силового трансформатора указаны серия, номинальная мощность, номинальные напряжения и токи первичной и вторичной обмоток, частота тока, схема и группа соединения обмоток и напряжение короткого замыкания.

Расчетную мощность трансформатора определяют по формуле

$$S_p = k_{\text{сп}} \Sigma P_{\text{уст}}, \quad (161)$$

где  $k_{\text{сп}}$  — коэффициент спроса, учитывающий к. п. д. и степень загрузки силовых потребителей, разновременность включения, потери мощности в сети и коэффициент мощности потребителей;

$\Sigma P_{\text{уст}}$  — суммарная установленная мощность потребителей, кВт.

По каталогу, исходя из условия  $S_{тр} \geq S_p$ , выбирают ближайший по мощности трансформатор.

#### § 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Сварочные трансформаторы типа СТАН, СТН, ТС, СТШ, ТД используют при электрической сварке металлов на переменном токе. Это однофазные трансформаторы с так называемой крутопадающей внешней характеристикой, благодаря которой сварочная дуга легко зажигается и устойчиво горит. Такая характеристика получается за счет индуктивного сопротивления реактивной катушки, включаемой последовательно со вторичной обмоткой. Напряжение питающей линии 380 или 220 В, вторичное напряжение холостого хода 50...65 В, рабочее 20...30 В, потребляемая мощность 24...43 кВ·А.

Силу сварочного тока регулируют, изменяя воздушный зазор в сердечнике (СТН, СТАН, СТШ, ТД) или расстояние между обмотками (ТС). С увеличением воздушного зазора и уменьшением расстояния между обмотками сварочный ток увеличивается (и наоборот).

Автотрансформаторы (однофазные и трехфазные) применяют в различных схемах для понижения и повышения напряжения. В отличие от обычных двухобмоточных трансформаторов у них на фазу приходится по одной обмотке: обмотка НН является частью обмотки ВН, то есть обмотки НН и ВН имеют электрическую связь (рис. 80).

Применение автотрансформаторов выгодно, когда коэффициент трансформации  $k < 1,25 \dots 2$ . Автотрансформатор работает следующим образом. При питании первичной обмотки АХ от сети переменного тока (рис. 80, а) в сердечнике возбуждается магнитный поток, наводящий в ней противо-э. д. с.  $E_1$ . На участке ах, являющемся вторичной цепью, устанавливается напряжение, пропорциональное числу его витков.

Ток первичной цепи  $I_1$  проходит по всей обмотке АХ, а ток вторичной цепи  $I_2$  по участку ах навстречу  $I_1$ .

Следовательно, на общем участке ах проходит приблизительно разность токов  $I_{ax} = I_2 - I_1$ .

Часть мощности с первичной стороны передается во вторичную электромагнитным путем, а остальная часть электрическим.

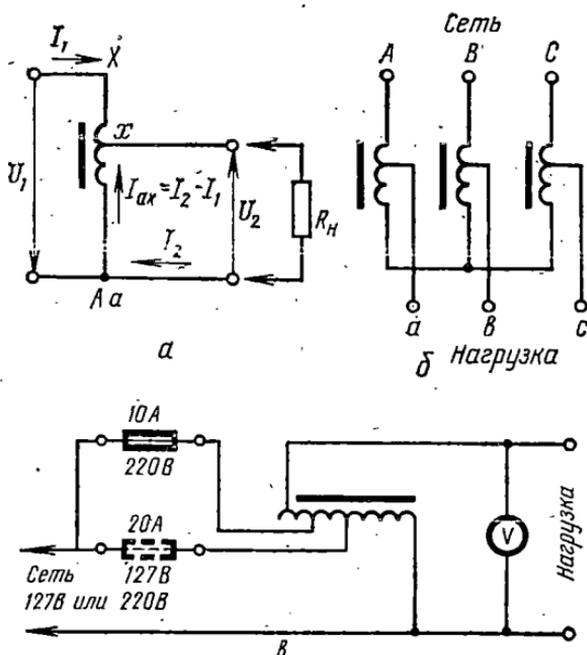


Рис. 80. Электрические схемы автотрансформаторов:  
 а — однофазный; б — трехфазный; в — РНШ (регулятор напряжения).

Мощность, передаваемая во вторичную цепь,

$$S = U_2 I_2 = U_2 (I_{ax} + I_1) = U_2 I_{ax} + U_2 I_1 = S_m + S_э, \quad (162)$$

где  $S_m = U_2 I_{ax}$  — мощность, поступающая во вторичную цепь электромагнитным путем;

$S_э = U_2 I_1$  — мощность, поступающая во вторичную цепь электрическим путем.

В регулируемом автотрансформаторе напряжение повышают или понижают, изменяя число витков в обмотке НН или ВН переключателем или скользящим контактом (рис. 80, б, в).

Достоинство автотрансформатора — меньший расход меди для выполнения обмотки; электротехнической стали, выше к. п. д. по сравнению с обычным трансформатором той же мощности.

Недостатками являются электрическая связь между обмотками ВН и НН и большие токи короткого замыкания.

Измерительные трансформаторы тока и напряжения применяют для расширения пределов измерения приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра, счетчиков и др.) в цепях переменного тока и обеспечения безопасности обслуживающего персонала. Один вывод вторичной обмотки и корпус трансформатора тока и напряжения заземляют.

Измерительные трансформаторы применяют либо с приборами, при градуировке которых уже учтен коэффициент трансформации, либо для определения истинного значения измеряемой величины надо показания приборов умножить на коэффициент трансформации, который указан в паспорте трансформатора.

## **Лабораторная работа 8**

### **Силовые трансформаторы**

**Цель работы.** Изучить устройство трехфазного и однофазного силовых трансформаторов. Освоить приемы определения коэффициента трансформации.

**Оборудование и приборы.** 1) Трехфазный и однофазный силовые трансформаторы. 2) Понижающий однофазный трансформатор 220/36 В. 3) Вольтметр. 4) Ваттметр. 5) Соединительные провода.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Изучить общее устройство силовых трансформаторов; ознакомиться с конструкцией переключателя для регулирования напряжения.

2. Начертить электрическую схему трехфазного трансформатора и обозначить выводы обмоток высшего и низшего напряжения. Записать его паспортные данные.

3. Собрать схему для определения коэффициента трансформации (схему холостого хода).

4. Подключить обмотку высшего напряжения к сети при разомкнутой обмотке низшего напряжения. Измерить вольтметром напряжение на зажимах обеих обмоток.

5. По формуле (157) вычислить коэффициент трансформации.

6. Измерить ваттметром мощность холостого хода трансформатора.

7. Составить отчет о работе.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Для чего предназначены трансформаторы?
2. Как устроен однофазный трансформатор?
3. Объясните принцип работы трансформатора.
4. Что называется коэффициентом трансформации и как его определить?
5. Какова особенность устройства трехфазного трансформатора?
6. Как устроены, работают и для чего служат автотрансформаторы?

## Глава VIII. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### § 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Машины переменного тока — двигатели и генераторы — принято разделять на две большие группы — машины асинхронные и синхронные.

К группе асинхронных относят машины переменного тока, у которых частота вращающегося магнитного поля и частота вращения подвижной части (ротора) всегда различны и не могут быть одинаковыми по характеру основных физических процессов, происходящих в машине.

Группа синхронных машин объединяет машины переменного тока, частота вращения ротора которых всегда равна (синхронна) частоте вращающегося магнитного поля.

По числу фаз различают трехфазные и однофазные машины переменного тока.

Как и электрические машины вообще, машины переменного тока обратимы, то есть каждая из них может работать и генератором, и двигателем. Это, однако, не означает, что практически безразлично, в каком режиме (двигательном или генераторном) использовать данную машину. Синхронным и асинхронным, однофазным и трехфазным машинам переменного тока присущи специфические свойства, которые предопределяют сферу их применения. Так, более мощные и экономичные трехфазные машины распространены значительно шире, чем однофазные. Синхронные машины используют в основном в качестве генераторов (ими оснащены все современные мощные электростанции); синхронные двигатели применяют реже, в отдельных процессах и производствах.

Из всех электрических машин наибольшее распространение и в промышленности, и в сельском хозяйстве получил трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (около 95% всех двигателей асинхронные). Это простые по конструкции, надежные в работе, удобные в обслуживании и дешевые машины.

### § 2. УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Основные части асинхронного электродвигателя — неподвижный статор 2 (рис. 81) и вращающийся ротор 4.

Статор состоит из чугунного или алюминиевого корпуса,

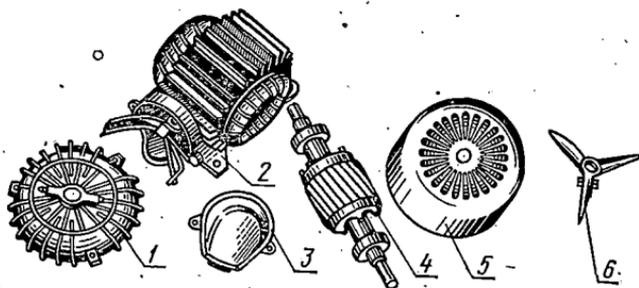


Рис. 81. Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в разобранном виде:

1 — подшипниковый щит; 2 — статор; 3 — крышка выводного щитка; 4 — короткозамкнутый ротор; 5 — защитный кожух вентилятора; 6 — вентилятор.

сердечника с пазами, набранного из отдельных изолированных листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм, и обмотки, выполненной обычно из медной изолированной проволоки. В статор укладывают три обмотки (по числу фаз), сдвинутые в пространстве по отношению друг к другу на угол  $120^\circ$ , а их выводы помещают в коробку, размещенную на корпусе, и определенным образом маркируют (табл. 3).

Таблица 3. Обозначения выводов обмоток статора (ГОСТ 183—66)

Фаза	Обозначение выводов обмоток	
	начала	концы
Первая	C1	C4
Вторая	C2	C5
Третья	C3	C6

Ротор состоит из вала, сердечника и обмотки. В пазы сердечника ротора укладывают стержневую обмотку, но чаще заливают расплавленный алюминий.

Электродвигатели, у которых обмотка ротора замкнута кольцами и не имеет выводов, называют электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

У электродвигателей с фазным ротором в пазы ротора укладывают трехфазную обмотку, соединенную звездой, концы которой сводят в общую точку, а начала присоеди-

няют к трем контактными кольцам, изолированным друг от друга и от вала. На кольца накладывают щетки, соединяющие обмотку ротора с пусковым или регулировочным реостатом. Основные данные электродвигателя приведены на заводском щитке, где указывают: товарный знак предприятия-изготовителя, тип электродвигателя, заводской номер, род тока, частоту, число и схему соединения фаз, номинальные значения мощности, напряжения, тока, частоты вращения, к. п. д., коэффициента мощности, напряжения и тока ротора (для двигателя с фазным ротором), год выпуска, массу машины, номер стандарта, класс изоляции и режим работы.

Значения мощности, тока, частоты вращения ротора, к. п. д. и  $\cos \phi$  соответствуют номинальной нагрузке. В таблице 4 дана расшифровка буквенных символов в обозначении типа электродвигателя.

Цифра 2 за буквами означает вторую серию, цифра после первой черточки — номер (габарит) сердечника статора по наружному диаметру, следующая — номер длины статора, цифра после второй черточки — число полюсов. Например, марка АОЛ2-32-4 расшифровывается так: электродвигатель асинхронный, трехфазного тока, закрытого обдуваемого исполнения с алюминиевым корпусом, второй серии, третьего габарита, второй длины, четырехполюсный.

В паспорте электродвигателя обычно указывают два напряжения, например 220/380 В. Это означает, что при

Таблица 4. Расшифровка буквенных символов в обозначении типа электродвигателя

Исполнение	Корпус	Двигатели с короткозамкнутым ротором			Двигатели с фазным ротором
		общего применения	с повышенным пусковым моментом	с повышенным скольжением	
Защищенное	Чугунный	А, А2	АП	АС	АК
Защищенное	Алюминиевый	АЛ	—	—	—
Закрытое обдуваемое	Чугунный	АО, АО2	АОП, АОП2	АОС, АОС2	АОК2
Закрытое обдуваемое	Алюминиевый	АОЛ, АОЛ2	—	—	—

напряжении сети 220 В обмотки статора соединяют в треугольник, при 380 В — в звезду.

Обмотки статора соединяют по двум схемам: звезда и треугольни к. Для получения схемы звезда (рис. 82, а) концы  $C_4, C_5, C_6$  фаз соединяют в общую точку и изолируют, а начала  $C_1, C_2, C_3$  подключают к сети (или наоборот). Чтобы составить схему треугольник (рис. 82, б), конец  $C_4$  первой фазы соединяют с началом  $C_2$  второй, конец  $C_5$  второй с началом  $C_3$  третьей, конец  $C_6$  третьей с началом  $C_1$  первой и общие точки  $C_1-C_6, C_2-C_4, C_3-C_5$  подключают к сети.

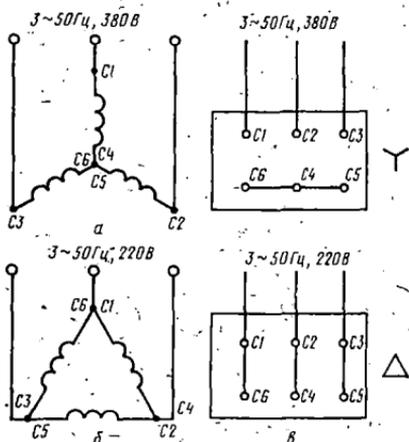


Рис. 82. Схема включения обмоток трехфазного электродвигателя:

а — в звезду; б — в треугольник; в — исполнение схем «звезда» и «треугольник» на клеммном щитке.

### § 3. ПОЛУЧЕНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СТАТОРА

Особенностью многофазных токов является их способность создавать вращающееся магнитное поле. Рассмотрим процесс получения такого поля на примере трехфазного тока. Для этой цели поместим в пазы стального кольца (статора) три катушки (каждая катушка из одного витка), сдвинутые в пространстве относительно друг друга на  $120^\circ$  (рис. 83). Обозначим начала выводов катушек стандартно символами  $C_1, C_2, C_3$ , концы —  $C_4, C_5, C_6$ , соединим выводы катушек в звезду или треугольник и включим в трехфазную цепь. В первой катушке появится ток  $i_1$ , во второй  $i_2$ , в третьей  $i_3$ . Эти токи равны друг другу и сдвинуты по фазе на  $120^\circ$  (рис. 84). Будем считать, что если ордината синусоиды на диаграмме положительная, то и ток в данной катушке положительный и направлен от начала катушки (знак  $+$ ) к ее концу (отмечен точкой); отрицательный ток направлен от конца катушки к ее началу.

В момент времени  $t_1$  ток  $i_1$  равен нулю, ток  $i_2$  положителен, а ток  $i_3$  — отрицателен (на рисунке 83 показаны

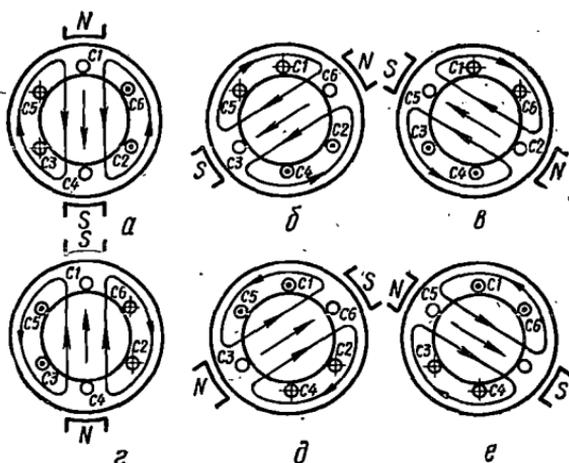


Рис. 83. Принцип получения вращающегося магнитного поля.

направления токов в каждой катушке, соответствующие моменту времени  $t_1$ ).

Направление магнитного поля в проводнике каждой катушки определяется правилом буравчика, а суммарное поле статора показано на рисунке 83 (сплошными линиями).

На рисунке 83, а видно, что поле статора имеет два полюса — северный  $N$  и южный  $S$ , то есть одну пару полюсов. Если обозначить буквой  $p$  число пар полюсов, то в данном случае  $p=1$ .

В момент времени  $t_2$ , следующий за  $t_1$  через  $1/6$  периода ( $60^\circ$ ), ток  $i_1$  положителен,  $i_3$  равен нулю,  $i_2$  отрицателен

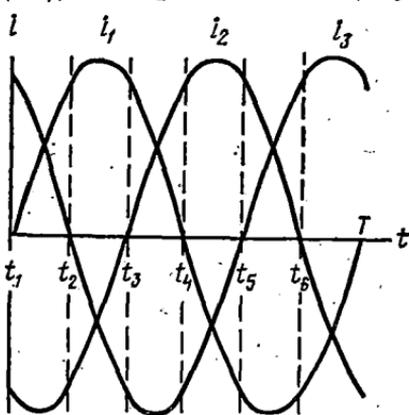


Рис. 84. График трехфазного тока.

(их направление в катушках показано на рисунке 83, б). Сравнивая рисунки, нетрудно сделать вывод, что магнитное поле статора повернулось тоже на  $1/6$  периода.

В следующие моменты времени  $t_3, t_4, t_5, t_6$  направления магнитного поля статора будут соответствовать изображенным на рисунке 83, в, г, д, е; значит, за время одного периода  $T=360^\circ$  магнитное поле статора также повернется на  $360^\circ$ .

Таким образом, трехфазный ток, проходя по трем катушкам, сдвинутым в пространстве на  $120^\circ$ , образует синхронно вращающееся магнитное поле. Синхронная частота вращения магнитного поля, об/мин, определяется формулой

$$n_i = \frac{60f}{p}, \quad (163)$$

где  $f$  — частота тока, Гц;

$p$  — число пар полюсов магнитного поля статора.

Если каждая фаза состоит из двух катушек, то шесть катушек статора образуют четыре полюса, то есть  $p=2$ , и за то же время угол поворота поля получится в два раза меньшим, чем при  $p=1$ .

Изменяя частоту тока и число пар полюсов, можно регулировать частоту вращения магнитного поля.

В нашей стране стандартная частота промышленного переменного тока  $f=50$  Гц. Ниже приведены значения синхронной частоты вращения магнитного поля (об/мин) при частоте тока 50 Гц в зависимости от числа пар полюсов электродвигателя:

$p$ . . . . .	1	2	3	4	5	6
$n_1$ . . . . .	3000	1500	1000	750	600	500

Чтобы изменить направление вращения магнитного поля статора, достаточно поменять местами два любых линейных провода из трех, подведенных к статору от сети.

#### § 4. ПРИНЦИП РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Принцип работы электродвигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и индуцированного им тока в обмотке ротора.

Когда трехфазный переменный ток проходит по обмоткам статора, возникает вращающееся магнитное поле, магнитные силовые линии которого пересекают обмотку ротора, индуцируя в ней э. д. с. Под действием э. д. с. в замкнутой обмотке ротора возникает ток. Направление э. д. с. и тока определяют, пользуясь правилом правой руки, причем нужно учесть, что вращение магнитного поля относительно проводника (например, по часовой стрелке) равносильно обратному вращению проводника. Направление э. д. с. и тока в проводниках ротора (рис. 85) отмечено знаком плюс (от нас) и точкой (к нам).

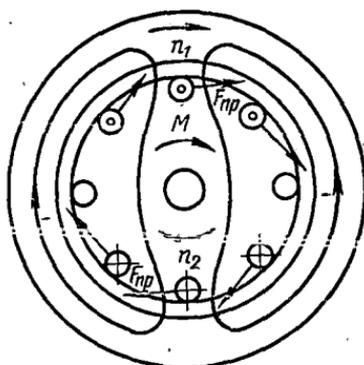


Рис. 85. Принципиальная схема работы асинхронного двигателя.

На каждый проводник с током, находящийся в магнитном поле, действует электромагнитная сила  $F_{пр}$ , направление которой определяется правилом левой руки. Сила  $F_{пр}$  создает момент, вращающий ротор в направлении движения магнитного поля с частотой  $n_2$ , меньшей, чем частота вращения магнитного поля  $n_1$ . При  $n_2 = n_1$  обмотка ротора уже не будет пересекаться магнитным полем статора, в ней не возникнет э. д. с., ток ротора и вращающий момент будут равны нулю. Следовательно, ротор всегда вращается асинхронно (несинхронно) по отношению к магнитному полю статора. Отсюда и название электродвигателя — асинхронный.

Разность  $n_1 - n_2$  получила название скорости скольжения. Отношение скорости скольжения к частоте вращения магнитного поля называют скольжением.

Разность  $n_1 - n_2$  получила название скорости скольжения. Отношение скорости скольжения к частоте вращения магнитного поля называют скольжением.

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (164)$$

$$\text{или в процентах, } S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100\%. \quad (165)$$

Номинальное значение скольжения находится в пределах 0,02...0,06, или 2...6%. В момент пуска электродвигателя  $n_2 = 0$ , скольжение  $S = 1$ , или 100%. При холостом ходе, когда  $n_2 \approx n_1$ , скольжение  $S \approx 0$ . С ростом нагрузки на валу электродвигателя скольжение увеличивается, а частота вращения ротора уменьшается (и наоборот).

Частоту вращения ротора электродвигателя можно определить по формуле

$$n_2 = \frac{60f}{p} (1 - S). \quad (166)$$

## § 5. ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Вращающий момент асинхронного электродвигателя

$$M = c\Phi I_2 \cos \psi_2, \quad (167)$$

где  $c$  — постоянная электродвигателя (зависит от его конструкции);  
 $\Phi$  — магнитный поток статора;  
 $I_2 \cos \psi_2$  — активная слагающая тока ротора;  
 $\psi_2$  — угол сдвига фаз между э. д. с.  $E_2$  и током  $I_2$  ротора.

При постоянном напряжении питающей сети магнитный поток остается практически неизменным. Следовательно, вращающий момент  $M$  зависит в основном от активной слагающей тока ротора  $I_2 \cos \psi_2$ . Чем больше индуктивное сопротивление ротора, тем меньше коэффициент мощности, активная слагающая тока ротора и вращающий момент.

С возрастанием нагрузки на электродвигатель снижается частота вращения ротора, увеличивается скорость пересечения его обмоток магнитными силовыми линиями вращающегося поля статора, э. д. с. и ток ротора, а следовательно, и вращающий момент. С уменьшением нагрузки вращающий момент уменьшается.

Электродвигатель развивает такой вращающий момент, который необходим для преодоления нагрузки (но не более максимального).

Снижение напряжения, подводимого к статорной обмотке, приводит к уменьшению магнитного потока  $\Phi$  статора и тока  $I_2$  ротора. Отсюда следует, что вращающий момент пропорционален квадрату напряжения  $M=U^2$ , то есть асинхронные электродвигатели чувствительны к колебаниям напряжения питающей сети. Например, при снижении напряжения на 10% вращающий момент уменьшается на 19% ( $0,9 \cdot 0,9 = 0,81$ ). Это вызывает повышение скольжения, увеличение тока в обмотках, дополнительные потери мощности, чрезмерный нагрев электродвигателя и даже его останов при номинальной нагрузке.

## § 6. ЗАВИСИМОСТЬ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА ОТ СКОЛЬЖЕНИЯ

Вращающий момент зависит от скольжения, а оно, в свою очередь, от нагрузки на электродвигатель. В момент пуска (точка  $a$  на рисунке 86) ротор неподвижен,  $S=100\%$ , пусковой ток  $I_n$  в 6...7 раз больше номинального, а пусковой момент  $M_n$  всего только в 1,1...1,6 раза больше номинального  $M_n$ . Это объясняется тем, что при пуске частота тока в роторе  $f_{рот} = f_{сети}$ , индуктивное сопротивление ротора максимальное, вследствие чего малы

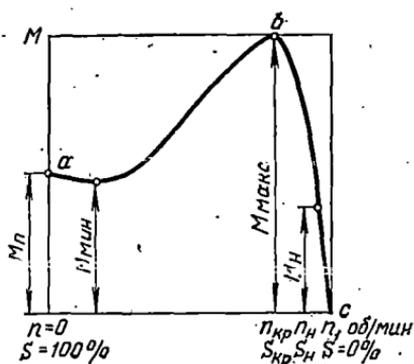


Рис. 86. Кривая зависимости вращающего момента от скольжения.

$\cos \psi_2$ , активная составляющая ротора  $I_2 \cos \psi_2$  и пусковой вращающий момент.

По мере разгона ротора скольжение уменьшается, а момент увеличивается, и при критическом скольжении  $S_{кр}$  становится максимальным (точка б). При дальнейшем уменьшении скольжения вращающий момент резко падает и при  $S=0\%$  будет равен нулю (точка с).

Участок *сб* при скольжении от  $S=0$  до  $S_{кр}$  характеризует устойчивую, жесткую работу электродвигателя, так как с изменением момента от  $O$  до  $M_{макс}$  скольжение увеличивается незначительно, то есть частота вращения электродвигателя остается почти постоянной.

Участок *ба* при скольжении от  $S=S_{кр}$  до  $S=100\%$  характеризует неустойчивую работу электродвигателя. С увеличением нагрузки (свыше  $M_{макс}$ ) быстро растет скольжение, вращающий момент уменьшается и электродвигатель останавливается.

Пусковые качества электродвигателя оцениваются кратностью пускового момента

$$K_{п} = \frac{M_{п}}{M_{н}} = 1,1 \dots 1,6, \quad (168)$$

а перегрузочная способность — кратностью максимального момента

$$K_{м} = \frac{M_{макс}}{M_{н}} = 1,6 \dots 2,5. \quad (169)$$

Кривая вращающего момента показывает, что пусковые свойства асинхронных электродвигателей с нормальным ротором в ряде случаев не удовлетворяют требованиям производства (небольшой пусковой момент при значительном пусковом токе). Это привело к созданию электродвигателей с двойной клеткой и с глубоким пазом в роторе, который обладает улучшенными пусковыми свойствами.

Электродвигатели с двойной клеткой (рис. 87, а) снабжены наружной (пусковой) клеткой с большим активным сопротивлением. В момент пуска, когда

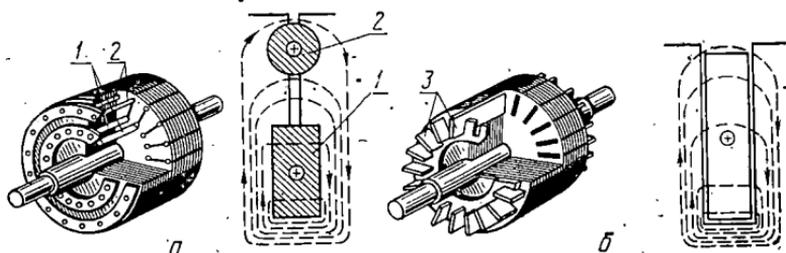


Рис. 87. Устройство ротора с двойной клеткой и глубоким пазом:  
*а* — ротор с двойной клеткой; *б* — ротор с глубоким пазом; 1 — внутренняя (рабочая клетка); 2 — наружная (пусковая) клетка; 3 — стержни обмотки.

частота тока в обмотке ротора равна частоте сети, токи в рабочей клетке (за счет большого индуктивного сопротивления) и в пусковой клетке (за счет большого активного сопротивления) невелики. Это обуславливает небольшой ток в статорной обмотке и увеличивает активную слагающую  $I_2 \cos \psi_2$  тока ротора, а следовательно, и начальный пусковой момент.

У электродвигателей с глубоким пазом (рис. 87, б) в момент пуска происходит вытеснение тока в верхние части стержней, что равносильно уменьшению их сечения и увеличению активного сопротивления обмотки ротора. Это приводит к уменьшению пускового тока и увеличению пускового момента. В рабочем режиме эффект вытеснения тока прекращается и двигатель работает, как обычный короткозамкнутый.

## § 7. ПУСК В ХОД АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором можно пускать в ход, непосредственно подключая их к сети, то есть при номинальном напряжении (прямой пуск). Однако в момент пуска электродвигатель потребляет из сети ток в 6...7,5 раза больший номинального, что приводит к резким колебаниям напряжения сети и вредно отражается на других потребителях.

Для уменьшения пускового тока применяют пуск с переключением обмоток со звезды на треугольник (рис. 88). Этот способ применим для электродвигателей, нормально работающих при соединении обмоток в треугольник, когда их мощность соизмерима с мощностью источника. В момент пуска обмотки соединяют переключателем в звезду, а после

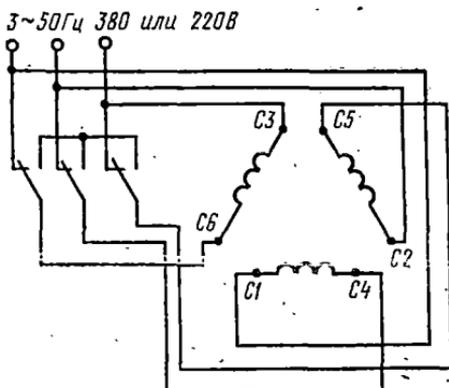


Рис. 88. Схема пуска трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя с переключением обмоток со звезды на треугольник.

его окончания — в треугольник. Пусковой ток уменьшается в три раза, поскольку подаваемое напряжение снижается в сравнении с номинальным в  $\sqrt{3}$ . Нагрузка при таком пуске должна быть не более  $\frac{1}{3} P_n$ .

Подводимое к электродвигателю напряжение можно в период пуска снижать при помощи активных или индуктивных сопротивлений (реакторов), автотрансформаторов и др. Однако по-

добные способы пуска в сельскохозяйственном производстве пока еще не нашли широкого применения.

Электродвигатели с фазным ротором пускают в ход при номинальном напряжении сети, используя пусковой реостат, включенный в обмотку ротора (рис. 89). Перед пуском реостат вводят полностью. По мере разгона электродвигателя сопротивление реостата плавно уменьшают и в конце пуска реостат полностью выключают. Электродвигатель продолжает работать как короткозамкнутый. Максимальный пусковой ток не превышает  $(1,5 \dots 2) I_n$ .

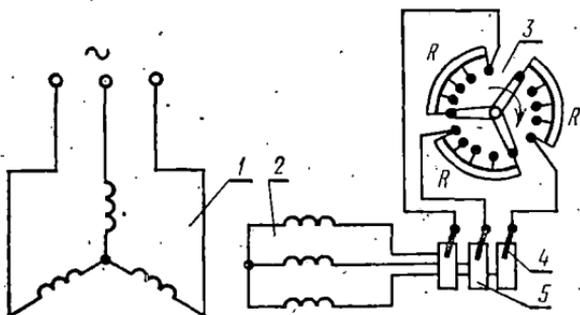


Рис. 89. Схема включения трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — трехфазный реостат; 4 — щетки; 5 — кольца.

## § 8. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Задача регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей приобретает особую важность в связи с тем, что они, как указывалось ранее, получили чрезвычайно широкое распространение. Однако для этих двигателей нет достаточно простых и экономичных способов плавного регулирования скорости.

Из выражения (163) следует, что частоту вращения асинхронного двигателя можно регулировать, изменяя число пар полюсов, вводя сопротивление в цепь ротора или изменяя частоту питающего тока. Практическое применение находят два первых способа.

Регулирование частоты вращения *изменением числа пар полюсов* используют для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Промышленность выпускает электродвигатели на две, три и четыре частоты вращения. В таких электродвигателях при помощи специального переключателя изменяют число пар полюсов статорной обмотки и получают ряд синхронных частот вращения магнитного поля. Это отражено в марке электродвигателя (например, АОЛ2-32-4/2 — на две, АО2-41-6/4/2 — на три и АО2-71-12/8/6/4 — на четыре частоты вращения).

Регулирование частоты вращения *изменением сопротивления цепи* ротора применяют для электродвигателей с фазным ротором. С этой целью в цепь ротора включают регулировочный реостат, рассчитанный на длительное прохождение тока. Следует, однако, заметить, что этот способ неэкономичен, ведет к потерям энергии в реостате и снижает к. п. д. электродвигателя.

У электродвигателей для привода вентиляторов в установках «Климат-4» частоту вращения можно регулировать *изменением подводимого напряжения*. Это достигается благодаря специальной конструкции ротора электродвигателя.

## § 9. КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ И К. П. Д. ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.

Полная (кажущаяся) мощность  $S = \sqrt{3}UI$ , потребляемая электродвигателем из сети, состоит из активной  $P$  и реактивной  $Q$  составляющих. Отношение активной мощности к полной называют коэффициентом мощности  $\cos \varphi$  электродвигателя. Коэффициент  $\cos \varphi$

показывает, какая часть полной мощности расходуется на полезную работу:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (170)$$

Отсюда мощность

$$P = S \cos \varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi, \quad (171)$$

а ток

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi}, \quad (172)$$

где  $U$  — напряжение на зажимах электродвигателя, В;  
 $I$  — сила тока, поступающего из сети, А.

Как показывает последнее выражение, при одной и той же мощности, развиваемой электродвигателем, сила тока, поступающего из сети, зависит от значения  $\cos \varphi$ . Низкий  $\cos \varphi$  приводит к увеличению силы тока, сечения проводов, потерь в них мощности, к недоиспользованию мощности генераторов станций и трансформаторов подстанций.

Согласно «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ)  $\cos \varphi$  не должен быть ниже 0,92 . . 0,95. В зависимости от коэффициента мощности разработана шкала скидок и надбавок на пользование электроэнергией.

Коэффициент мощности повышают естественным (без применения специальных устройств) и искусственным (с применением различных компенсирующих устройств) способами.

Для естественного способа повышения  $\cos \varphi$  характерны следующие мероприятия: правильный подбор электродвигателя к рабочим машинам; полная его загрузка (не ниже 75% номинальной мощности); ограничение работы электродвигателя на холостом ходу; обеспечение номинального напряжения на его зажимах; высококачественный ремонт; соединение обмоток электродвигателя в звезду при нагрузке менее 50% номинальной мощности, если он нормально работает при соединении обмоток в треугольник.

Искусственный способ повышения  $\cos \varphi$  более эффективен. Прибегая к этому способу, в сеть включают перевозбужденные синхронные электродвигатели или специальные конденсаторы (последние имеют малые потери мощности, бесшумны в работе, надежны, просты и удобны в эксплуатации).

В паспорте электродвигателя указывается мощность  $P_n$ , развиваемая им при номинальном режиме. Она меньше присоединенной  $P_{прис.}$  и на величину потерь мощности в самом электродвигателе. Отношение номинальной мощ-

ности к присоединенной называют коэффициентом полезного действия электродвигателя:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{прис. п}}} = \frac{P_{\text{п}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}I_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{п}}}. \quad (173)$$

Коэффициент полезного действия современных асинхронных двигателей весьма высок ( $\eta_{\text{п}}=0,7 \dots 0,95$ ).

## § 10. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СЕРИЙ А2, А02 И 4А

Отечественная промышленность выпускает единую серию асинхронных трехфазных электродвигателей А2, А02 с короткозамкнутым ротором мощностью от 0,6 до 100 кВт. Эта серия состоит из девяти габаритов, различающихся размером наружного диаметра сердечника статора. Каждый габарит при данных частоте вращения и исполнении предусматривает две мощности и соответственно два номера длины сердечника статора.

Эти электродвигатели в чугунном или алюминиевом корпусе, защищенного или закрытого обдуваемого исполнения, с изоляцией класса Е для 1...5-го габаритов и повышенной нагревостойкостью для 6...9-го габаритов, рассчитаны на работу от сети переменного трехфазного тока частотой 50 Гц, напряжением 500, 380, 220, 127 В, для продолжительного режима работы, с отдачей паспортной мощности при температуре окружающей среды 40°C и влажности до 80%. Разрабатывают электродвигатели на напряжение 660 В.

На базе электродвигателей основного исполнения созданы модификации: АОП-2 — с повышенным пусковым моментом, АОС2 — с повышенным скольжением, АОК2 — с фазным ротором, многоскоростные (на две, три и четыре частоты вращения ротора), а также специализированного исполнения: Т — тропическое, Х — химостойкое, В — влагоморозостойкое, Ш — малозумное.

Кроме того, выпускают серию трехфазных асинхронных электродвигателей серии Д с чугунным и Да с алюминиевым корпусом.

В 1972 г. начато производство асинхронных трехфазных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А. Новая серия по технико-экономическим показателям соответствует перспективному уровню мировой техники на период 1975...1980 гг. Электродвигатели серии 4А рассчитаны на стандартную шкалу напряжений до 660 В,

частоту 50 Гц и охватывают диапазон мощностей от 0,12 до 400 кВт.

Электродвигатели этой серии имеют ряд преимуществ по сравнению с другими, выпускаемыми в настоящее время: их масса и габариты меньше, пусковые моменты увеличены, уровни воздушного шума и вибрации снижены, они более надежны и долговечны, их отличают удобство при монтаже и эксплуатации и современное конструкторско-художественное оформление.

Средний срок службы 15 лет при ежегодной наработке не менее 3600 ч и замене подшипников через каждые 10 000 ч.

Электродвигатели серии 4А имеют следующие исполнения: основное, рассчитанное на частоту 50 Гц, предназначенные для привода машин, не предъявляющих специальных требований в отношении механической характеристики и условий окружающей среды; электрические модификации с повышенным пусковым моментом; с повышенным скольжением, многоскоростные, на частоту тока 60 Гц, однофазные; специализированные по конструкции, например, встраиваемые в технологические машины; специализированные по условиям окружающей среды: влагоморозостойкие; химостойкие, тропические; узкоспециализированные: для сельского хозяйства, для судов речного и морского флота, для Крайнего Севера.

По степени защиты от окружающей среды: закрытые, обдуваемые и защищенные.

Обозначение типа электродвигателя (4АА90 L В8) расшифровывается так:

4 — номер серии; А — вид двигателя (асинхронный); Н — защищенный (для закрытых двигателей обозначение не дается); А — алюминиевые станина и щиты (Х — алюминиевая станина и чугунные щиты; если станина и щиты чугунные, никакого обозначения не дается); 90 — высота оси вращения, мм; S, M, L — установочные размеры по длине корпуса; А, В — длина сердечника (дается в том случае, когда на одном установочном размере предусмотрены две мощности); 2, 4, 6, 8 — число полюсов.

#### **§ 11. СПЕЦИАЛЬНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Электродвигатели общепромышленного назначения не отвечают специфическим условиям сельского хозяйства, в связи с чем промышленность приступила к выпуску спе-

циальных асинхронных электродвигателей сельскохозяйственного назначения на базе серий АО2, А4 и Д. Они предназначены для работы на открытом воздухе и во всех сельскохозяйственных помещениях с температурой окружающей среды от  $-45^{\circ}$  до  $40^{\circ}\text{C}$  и относительной влажностью воздуха до 98% при  $20^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, они допускают содержание в воздухе до  $1,16 \text{ г/м}^3$  горючей соломистой и хлопковидной пыли,  $0,03 \text{ г/м}^3$  аммиака,  $0,03 \text{ г/м}^3$  сероводорода и  $14,7 \text{ г/м}^3$  углекислого газа.

Электродвигатели серии АО2 и АОП2 сельскохозяйственного назначения выпускают 3...7 габаритов мощностью от 1,5 до 30 кВт на 1000, 1500 и 3000 об/мин.

В обозначение электродвигателей этой серии введены буквы СХ (например, АО2-32-2СХ).

Электродвигатели серии Да сельскохозяйственного назначения выпускают мощностью от 0,25 до 4 кВт на 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин, а также многоскоростные — на две и три скорости. Буквы и цифры в обозначении расшифровывают (на примере Да 80А4С) так: Д — серия, а — алюминиевый корпус, 80 — высота оси вращения, А — короткий магнитный сердечник, 4 — четырехполюсный, С — сельскохозяйственного назначения.

Все электродвигатели сельскохозяйственного назначения обладают улучшенными пусковыми свойствами (их пуск возможен при номинальной нагрузке) и повышенными значениями  $\kappa. п. д.$  и  $\cos \phi$ .

Это машины закрытого обдуваемого, химовлагоморозостойкого исполнения; от попадания пыли, инородных предметов и влаги они защищены манжетными резиновыми уплотнениями по линии вала.

Электродвигатели до 5-го габарита имеют изоляцию класса В, 6-го и 7-го габаритов — класса F; допускающую максимальный нагрев обмоток соответственно до  $125$  и  $145^{\circ}\text{C}$ .

Электродвигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения изготовляют мощностью от 7,5 до 30 кВт, в закрытом обдуваемом исполнении с чугунными оребренными корпусами и чугунными подшипниковыми щитами, в которых имеются устройства для пополнения смазки без их разборки. Применены стойкие к воздействию повышенной влажности и агрессивной среды животноводческих помещений обмоточные и установочные провода, пропиточные и лакокрасочные материалы, антикоррозийные покрытия. Все электродвигатели сельскохозяйственного назначения имеют

повышенные моменты, что обеспечивает их пуск при полной нагрузке машины и устойчивую работу при пониженном напряжении.

## § 12. ОДНОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Однофазные электродвигатели, применяемые в сельскохозяйственном производстве для привода ряда машин (например, вентиляторов, некоторых водяных насосов и др.), выпускают напряжением 127, 220 и 380 В, частотой 50 Гц, мощностью от 18 до 600 Вт.

Ротор таких электродвигателей (рис. 90, б) короткозамкнутый, а в пазы статора уложены рабочая и вспомогательная обмотки.

Поскольку однофазный переменный ток не создает вращающегося магнитного поля, в однофазных электродвигателях пускового момента не возникает. Однако если ротор такого электродвигателя сначала принудительно развернуть, то создается вращающийся момент, действующий в направлении вращения ротора.

Чтобы получить пусковой момент, в статор укладывают пусковую (вспомогательную) обмотку, сдвинутую в пространстве относительно рабочей на угол  $90^\circ$  (рис. 90, б). Выводы пусковой обмотки обозначают буквами П1—П2, рабочей С1—С2. Для изменения направления вращения ротора достаточно поменять местами выводы пусковой или рабочей обмотки.

При пуске обе обмотки включают на полное напряжение сети. После того как электродвигатель разовьет номиналь-

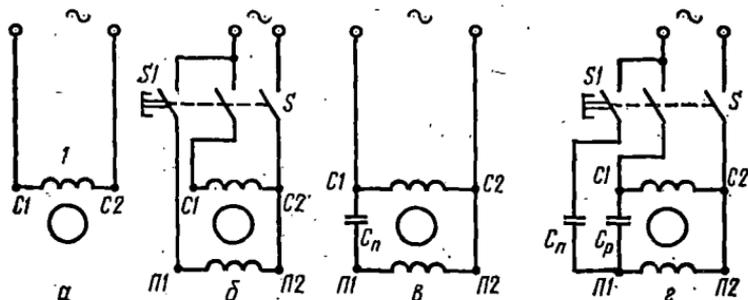


Рис. 90. Схемы включения простейшего однофазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором:

а — с одной основной рабочей обмоткой; б — со вспомогательной (пусковой) обмоткой; в — с пусковым конденсатором; г — с рабочим и пусковым конденсаторами; 1 — основная обмотка; 2 — вспомогательная обмотка;  $C_p$  — рабочий конденсатор;  $C_n$  — пусковой конденсатор.

ную частоту вращения (примерно через 3 с), пусковую обмотку отключают. По такой схеме включают электродвигатели серии АОЛБ.

Электродвигатели с пусковой обмоткой имеют небольшой пусковой момент, малую перегрузочную способность и низкие к. п. д. и  $\cos \varphi$ .

Для увеличения пускового момента последовательно с пусковой обмоткой чаще включают емкостное сопротивление — конденсатор (рис. 90, в). Такой электродвигатель называют конденсаторным. Его пусковой момент составляет 45...50% номинального,  $\eta=75\%$ ,  $\cos \varphi=0,9$ . Чтобы еще больше увеличить пусковой момент, параллельно рабочей емкости  $C_p$  на время пуска включают пусковую емкость  $C_n$  (рис. 90, г). Такой электродвигатель называют конденсаторным с пусковой емкостью.

### § 13. ПОНЯТИЕ О СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

У синхронных электродвигателей частота вращения ротора не зависит от нагрузки и равна частоте вращения магнитного поля статора, а скольжение  $S$  равно нулю. Они бывают трехфазные и однофазные. Устройство синхронного электродвигателя трехфазного тока аналогично синхронному генератору. Они не имеют пускового момента, поэтому в ротор таких электродвигателей укладывают короткозамкнутую пусковую обмотку, состоящую из медных стержней.

Принцип действия синхронного электродвигателя основан на взаимодействии магнитного поля статора и ротора; северный полюс статора увлекает за собой южный полюс ротора, а южный полюс статора — северный полюс ротора. Синхронные электродвигатели применяют в непрерывно действующих установках для привода машин и механизмов, требующих постоянства частоты вращения, в качестве синхронных компенсаторов для улучшения  $\cos \varphi$ .

### § 14. ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, УСТАНОВЛИВАЕМЫЕ НА ТРАКТОРАХ

Тракторные генераторы должны обладать повышенной надежностью и долговечностью. Поэтому в современных тракторных генераторах типа К-304 и его модификациях

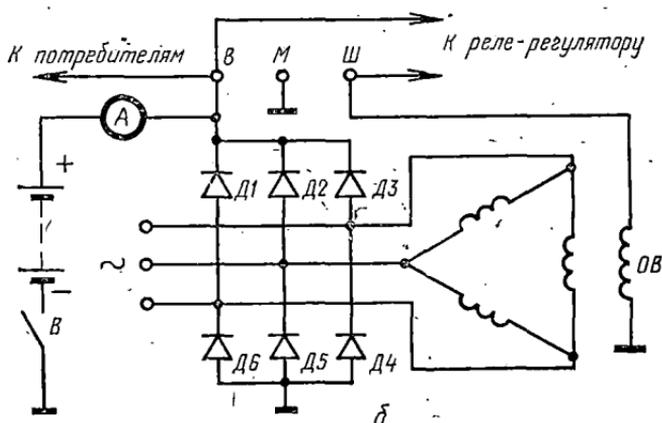
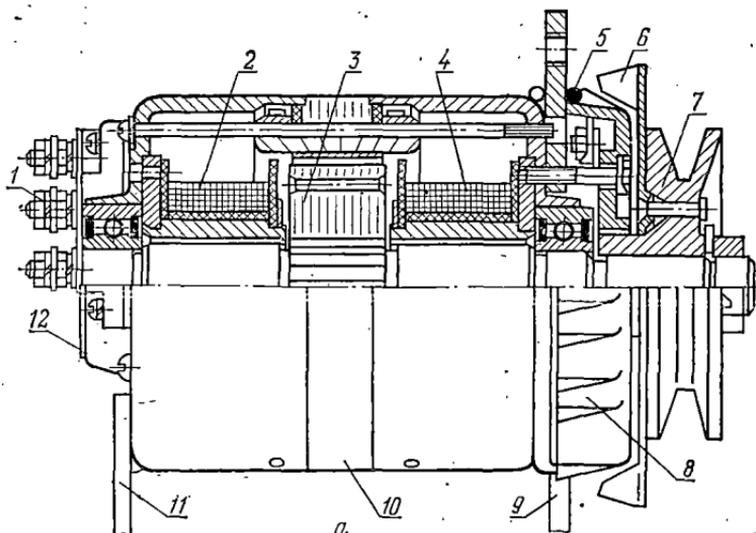


Рис. 91. Генератор Г-304:

*а* — общее устройство; *б.* — электрическая схема: 1 — клеммы, 2 — задняя катушка возбуждения; 3 — ротор; 4 — передняя катушка возбуждения; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — лопасти вентилятора; 7 — шкив; 8 — выпрямитель; 9 — передняя крышка; 10 — статор; 11 — задняя крышка; 12 — крышка-шильдик.

исключены контактные кольца и щетки, вместо постоянного магнита установлен электромагнит, обмотка возбуждения неподвижная.

На тракторах МТЗ-80, МТЗ-82 установлен трехфазный генератор Г-304-Д1 (рис. 91) переменного тока с двусторонним электромагнитным возбуждением.

Генератор состоит из двух основных частей: неподвижной — статора и вращающейся — ротора.

Статор 10 набран из листов электротехнической стали. С внутренней стороны статора имеется девять выступов, на которые надеты катушки трехфазной обмотки. Каждая фаза образована тремя катушками, соединенными последовательно, а сами фазы сведены в схему «треугольник». Концы фаз выведены к трем контактным болтам (обозначены  $\sim$ ) панели и соединены с выпрямителем.

Ротор 3 набран из листов электротехнической стали в виде диска с шестью выступами и напрессован на вал, который вращается в двух шариковых подшипниках. На задней крышке расположены две панели с выводными клеммами *M*, *B*, *Ш* постоянного тока и три вывода « $\sim$ » переменного тока.

Принцип действия генератора следующий.

Перед пуском двигателя замыкают выключатель «Мас-са». Из аккумулятора подается постоянный ток в обмотку возбуждения 2 и 4. Ротор намагничивается. При вращении ротора вращается и его магнитное поле, которое пересекает трехфазную обмотку статора и индуцирует в ней переменную э. д. с. Под действием э. д. с. в цепи появляется переменный ток, который преобразуется двухполупериодным выпрямителем 8, собранным по мостовой схеме на кремниевых диодах, в постоянный ток и подается к потребителям.

## **Лабораторная работа 9**

### **Трехфазные асинхронные электродвигатели**

**Цель работы.** Изучить устройство асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Освоить приемы пуска электродвигателя при соединении обмоток в звезду и треугольник.

**Приборы и оборудование.** 1) Электродвигатель АО2. 2) Набор слесарных инструментов. 3) Соединительные провода. 4) Тахометр.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Разобрать электродвигатель и ознакомиться с его устройством; собрать электродвигатель.

2. Записать паспортные данные электродвигателя.

3. Начертить схемы соединения обмоток электродвигателя в звезду и треугольник.

4. Соединить статорные обмотки звездой и включить двигатель в сеть.

5. Соединить статорные обмотки треугольником и включить двигатель в сеть.

6. Измерить частоту вращения ротора.

7. Изменить направление вращения ротора.

8. Составить отчет о работе.

## Контрольные вопросы и задания

1. Какая из машин переменного тока получила преимущественное распространение и почему?
2. Какой электродвигатель называют асинхронным трехфазным?
3. Перечислите основные части асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.
4. Какие основные данные указывают в паспорте электродвигателя?
5. Как обозначают начала и концы обмоток статора по стандарту и в каком порядке они выведены на клеммную доску?
6. Как соединить обмотки статора в звезду и в треугольник и от чего зависит сдвиг соединений?
7. Расшифруйте маркировку асинхронного электродвигателя.
8. Изложите принцип работы трехфазного асинхронного электродвигателя переменного тока.
9. От чего зависит частота вращения ротора?
10. Что такое скольжение и как его определить?
11. Расскажите об устройстве электродвигателя с фазным ротором.
12. Каковы основные преимущества двигателей сельскохозяйственного назначения по сравнению с двигателями общего назначения?

## Глава IX. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

### § 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Приборы, действие которых основано на электронных процессах в полупроводниках, называются **полупроводниковыми приборами**. Значительную роль в развитии полупроводниковой техники сыграл селен; селеновые выпрямители долгое время оставались основными полупроводниковыми приборами, получившими массовое применение. Однако с начала 70-х годов наибольшее распространение получают полупроводниковые приборы, изготовленные на базе кремния и германия.

Технология производства полупроводниковых материалов весьма сложна и требует высокой стабильности технологических режимов, соблюдения специальных условий, особенно по чистоте.

Полупроводниковые приборы можно разделить на следующие группы: электропреобразовательные приборы, которые преобразуют одни электрические величины в другие (полупроводниковый диод, транзистор, тиристор); оптоэлектронные приборы, преобразующие световые сигналы в электрические, и наоборот (оптрон, фоторезистор, светоизлучающий диод); термоэлектрические приборы, преобразующие тепловую энергию в электрическую (терморезистор); пьезоэлектрические и тензометрические приборы, которые реагируют на давление или механическое смещение.

Все вышеперечисленные приборы находят в последнее время широкое применение в сельском хозяйстве.

Само название «полупроводники» говорит о том, что они по величине электрической проводимости занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками. У металлов удельная электрическая проводимость равна  $>10^8$  См/м, у полупроводников от  $<10^8$  до  $10^{-10}$  См/м, у диэлектриков —  $<10^{-10}$  См/м.

Химические элементы, обладающие свойствами полупроводников, образуют в периодической системе элементов Менделеева группу, изображенную на рисунке 92. Из них наиболее часто применяют германий и кремний. Кристаллы полупроводников имеют атомную кристаллическую решетку; плоская структура кристалла германия изображена на рисунке 93, а. Четыре валентных электрона на внешней электронной оболочке каждого атома Ge связаны с такими же электронами соседних атомов химическими парно-электронными связями (ковалентная связь). При нагревании полупроводника происходит разрыв ковалентных связей, что приводит к появлению свободных электронов и возникновению собственной электронной проводимости.

5 B	6 C			
	14 Si	15 P	16 S	
	32 Ge	33 As	34 Se	
	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I

Рис. 92. Группа химических элементов, обладающих свойствами полупроводников.

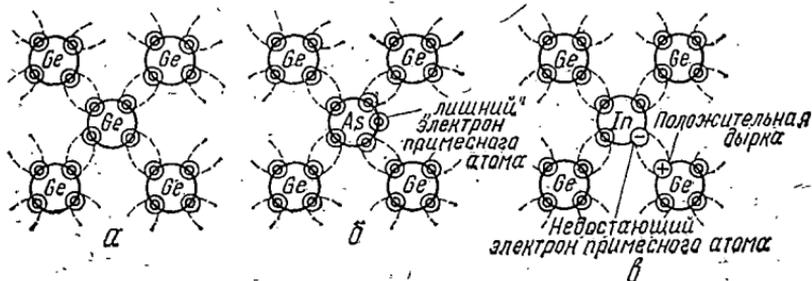


Рис. 93. Плоская схема структуры кристалла германия (а).  
Схема связи в кристалле германия с атомом примеси сурьмы (образование «лишнего» электрона) (б).  
Схема связи в кристалле германия атома индия (образование положительной дырки) (в),

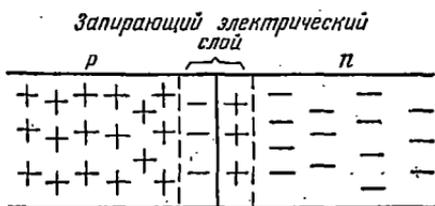


Рис. 94. Структура электронно-дырочного перехода ( $p - n$ -перехода).

Удельная электрическая проводимость чистых полупроводников увеличивается с повышением температуры. Этим они существенно отличаются от металлов.

Когда в кристаллическом чистом полупроводнике электрон получает энергию и уходит со своего места, то возникает избыточный положительный заряд — образуется дырка. Электрическая проводимость, обусловленная упорядоченным перемещением дырок, называется собственной дырочной проводимостью.

Примесной проводимостью полупроводников называется их электрическая проводимость, обусловленная внесением в их кристаллические решетки примесей — атомов посторонних химических элементов. Полупроводники с «лишним» электроном примесного атома обладают электронной примесной проводимостью (рис. 93, б) и называются полупроводниками  $n$ -типа. Полупроводники с «недостающим» электроном примесного атома обладают дырочной примесной проводимостью и называются полупроводниками  $p$ -типа (рис. 93, в).

Область монокристаллического полупроводника, в котором происходит смена проводимости с электронной на дырочную (или наоборот), называется электронно-дырочным переходом ( $p - n$ -переходом). На границе электронно-дырочного перехода в результате диффузии электронов из  $n$ -полупроводника в  $p$ -полупроводник и дырок из  $p$ -полупроводника в  $n$ -полупроводник образуется запирающий электрический слой, имеющий повышенное сопротивление по сравнению с остальными объемами полупроводника (рис. 94). Внешнее электрическое поле влияет на сопротивление запирающего слоя, это придает электронно-дырочному переходу свойство односторонней проводимости, которое широко используется в технике.

## § 2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

*Полупроводниковым диодом* называют двухэлектродный электронный прибор на основе полупроводникового кристалла. Действие полупроводникового диода основано на

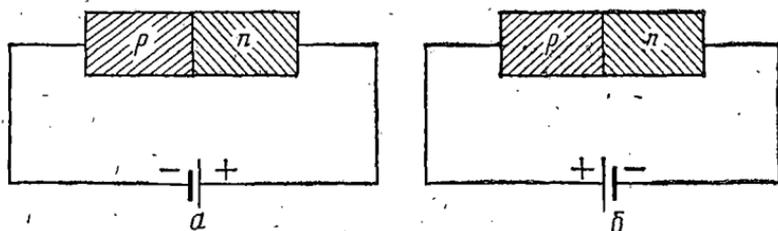


Рис. 95. Подключение напряжения к полупроводнику в прямом направлении (а). Подключение напряжения к полупроводнику в обратном направлении (б).

использовании свойств электронно-дырочного перехода ( $p-n$ -перехода): Если к  $p-n$ -переходу диода (рис. 95, б) приложить напряжение в прямом направлении, то есть подать на его  $p$ -область положительный потенциал, то запирающий электрический слой, соответствующий электронно-дырочному переходу, и его сопротивление уменьшаются и начинается интенсивная инжекция дырок из  $p$ -области в  $n$ -область и электронов из  $n$ -области в  $p$ -область. Это соответствует протеканию большого тока в прямом направлении (рис. 96, б). При смене полярности приложенного напряжения (рис. 95, а) запирающий электрический слой расширяется, через  $p-n$ -переход протекает очень маленький ток, так называемый обратный ток.

Вольт-амперные характеристики полупроводникового диода (рис. 96, б) имеют явно выраженную несимметричность. Это свойство используют в установках для выпрямления переменного тока. Следует отметить, что при напряжениях, превышающих  $U_{обр. доп.}$ , ток резко возрастает, возникает необратимый (тепловой) пробой  $p-n$ -перехода, приво-

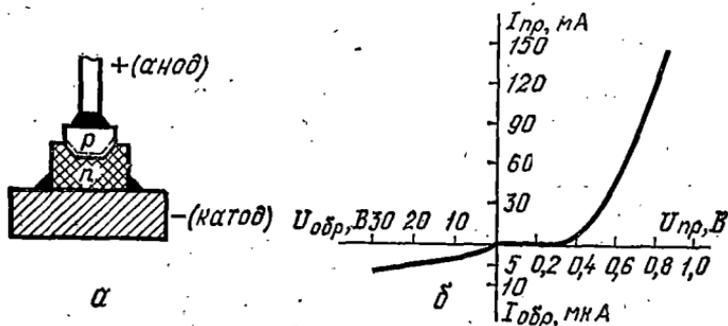


Рис. 96. Полупроводниковый диод:  
а — устройство плоскостного диода; б — вольт-амперная характеристика диода.

дящий к выводу полупроводникового диода из строя. В качестве полупроводниковых материалов для полупроводниковых диодов применяют в большинстве случаев кремний (Si) или германий (Ge). Для защиты кристалла полупроводникового диода от влияния окружающей среды его помещают в металло-стеклянный, металло-керамический, стеклянный или пластмассовый кожух. В сельских электроустановках находят применение полупроводниковые диоды на десятки ампер и сотни вольт (зарядные агрегаты) и маломощные диоды на доли ампера. Общий вид конструкции диода приведен на рисунке 96, а, а основные параметры — в таблице 5.

Таблица 5. Основные параметры полупроводниковых диодов

Тип	Материал	$U_{\text{макс.}}$ , В	$I_{\text{макс.}}$ , А	Диапазон рабочих температур, °С
Д226	Кремний	100...400	0,3	-60...80
КД202	Кремний	50...600	3,0	-60...5
ВЛ200	Кремний	11 300	200	Искусственное охлаждение

Полупроводниковый диод является основным элементом выпрямительных устройств, служащих для преобразования переменного тока в постоянный. Выпрямительные устройства бывают однофазными, используемыми главным образом в маломощных устройствах питания цепей автоматики и телемеханики, и трехфазными для питания мощных установок промышленного типа. Схемы полупроводниковых выпрямителей приведены на рисунках 97, 98.

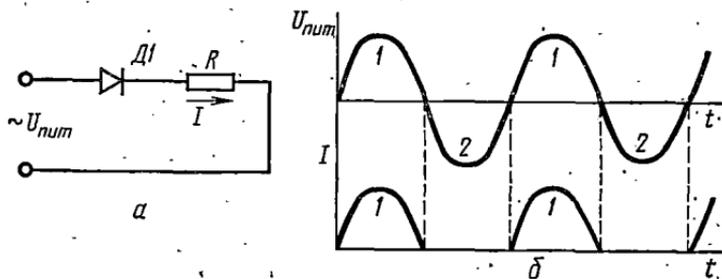


Рис. 97. Однополупериодное выпрямление переменного тока: а — электрическая схема; б — графики питающего напряжения и тока в нагрузке.

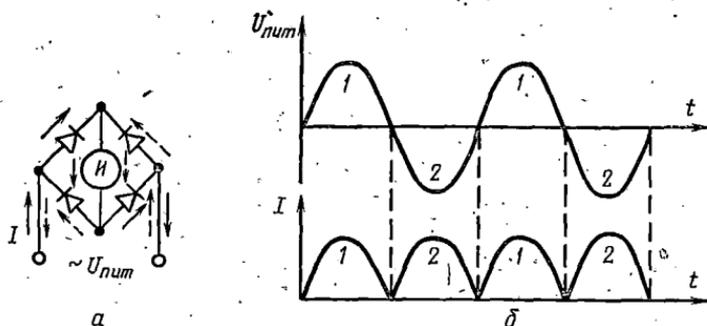


Рис. 98. Двухполупериодное выпрямление переменного тока: а — схема моста на четырех диодах; б — графики питающего напряжения и тока в нагрузке.

### § 3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТРИОДЫ (ТРАНЗИСТОРЫ)

Транзистором называют электронный прибор на основе полупроводникового кристалла, имеющий три вывода и предназначенный для преобразования и генерирования электрических колебаний. По конструкции транзистор состоит из трех областей: из полупроводника одного типа проводимости и двух примыкающих полупроводников с противоположным типом проводимости. Эти три области образуют в одном монокристалле два электронно-дырочных перехода (рис. 99). Принцип работы транзистора можно изучить на основании взаимодействия этих переходов, как показано на рисунке 100. Средняя область (она обычно очень тонкая) называется базой, две другие — эмиттером и коллектором. База отделена от эмиттера и коллектора электронно-дырочными переходами.

Если к эмиттерному переходу приложить напряжение  $U_{бэ}$ , которое уменьшает запирающий электрический слой перехода и тем самым уменьшает его сопротивление электрическому току, а к коллекторному переходу — напряжение  $U_{кб}$ , которое расширяет

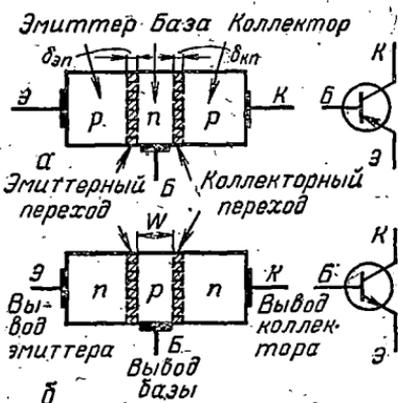


Рис. 99. Устройство и обозначение плоскостного сплавленного транзистора:

а —  $p-n-p$ -типа; б —  $n-p-n$ -типа.

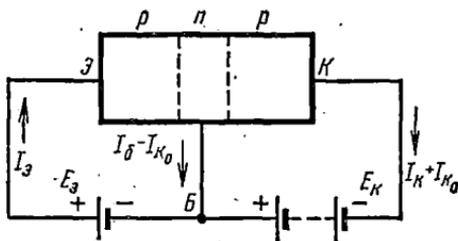


Рис. 100. Распределение токов в транзисторе  $p-n-p$ -типа.

запирающий электрический слой и увеличивает его сопротивление, то под действием  $U_{бэ}$  потечет ток  $I_э$ , который обусловлен перемещением электронов из эмиттера в базу. Проникая через базу в область коллектора, электроны захватываются его полем и

через коллектор течет коллекторный ток  $I_к$ . Однако не все электроны достигают коллектора; часть их рекомбинирует с основными носителями в базе — дырками. Так как в установившемся режиме количество дырок в базе постоянно, то часть электронов уходит, образуя ток  $I_б$ .

$$\text{Таким образом, } I_э = I_б + I_к. \quad (174)$$

$$\text{Обычно } I_б \ll I_к, \text{ поэтому } I_э \approx I_к. \quad (175)$$

Отношение  $\frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} = \alpha$  называется коэффициентом передачи тока и для обычных транзисторов близко к 1.

Несмотря на то что значение  $\alpha \approx 1$ , транзистор будет усиливать по мощности. Это происходит потому, что входное сопротивление усилительного каскада, в данном случае с общей базой, имеет величину 30...50 Ом, а сопротивление нагрузки 5...10 кОм. На основании соотношений можно найти:

$$K_p = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}; \quad (176)$$

$$P_{\text{ВЫХ}} = I_к^2 R_{\text{Н}}; \quad (177)$$

$$P_{\text{ВХ}} = I_э^2 R_{\text{Н}}. \quad (178)$$

При  $\alpha = 0,98$ ,  $R_{\text{Н}} = 5,1 \text{ кОм}$ ,  $R_{\text{ВХ}} = 51 \text{ Ом}$ ;  $I_э = 1 \text{ мА}$

$$\text{получим } K_p = \frac{0,98^2 \cdot 1 \cdot 5100}{1 \cdot 51} = 96.$$

В транзисторе различают три значения тока: эмиттера  $I_э$ , коллектора  $I_к$  и базы  $I_б$  и три значения напряжений в цепях: эмиттер — база ( $U_{эб}$ ), база — коллектор ( $U_{бк}$ ) и коллектор — эмиттер ( $U_{кэ}$ ). Эти величины связаны формулами:

$$I_э + I_к + I_б = 0; \quad (179)$$

$$U_{эб} + U_{бк} + U_{кэ} = 0. \quad (180)$$

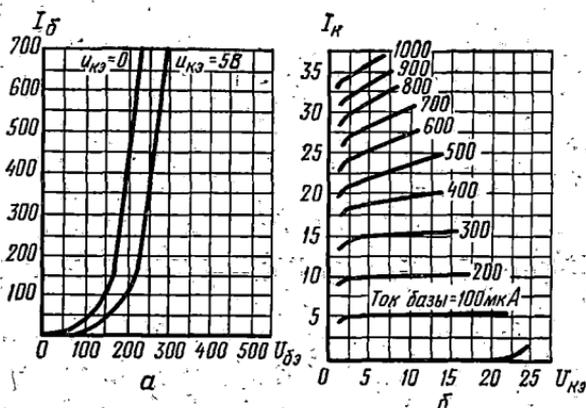


Рис. 101. Семейство входных (а) и выходных (б) характеристик транзистора для схемы с общим эмиттером.

Когда транзистор используется как усилитель, один электрод является входным, другой — выходным, третий — общим. При этом интерес представляют два тока: входной и выходной и два напряжения: входное и выходное.

Для схемы с общим эмиттером семейство входных характеристик определится зависимостью  $I_b$  от  $U_{бэ}$  при различных значениях  $U_{кэ}$ , а семейство выходных характеристик — зависимостью  $I_k$  от  $U_{кэ}$  при различных значениях  $I_b$  (рис. 101).

В схеме с общим эмиттером (рис. 102) усиливается напряжение подается на базу относительно эмиттера.

Усилительные свойства транзистора в схеме с общим эмиттером характеризуются коэффициентом усиления по току

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (181)$$

Из этого выражения видно, что  $\beta \gg 1$ . Для схемы с общим эмиттером характерно относительно высокое как входное,

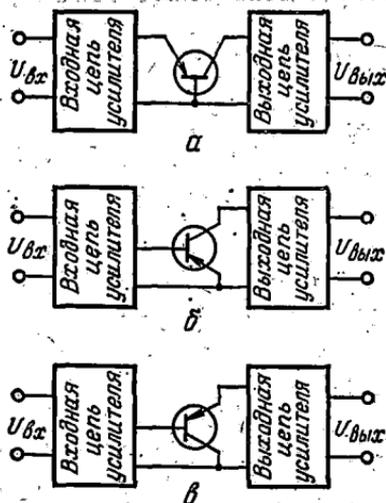


Рис. 102. Основные схемы включения транзистора: а — с общей базой; б — с общим эмиттером; в — с общим коллектором.

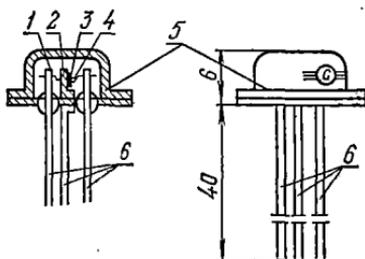


Рис. 103. Конструкция плоского сплавленного транзистора:

1 — эмиттерный вывод; 2 — кристаллодержатель; 3 —  $p-n$  переход; 4 — коллекторный вывод; 5 — металлический корпус; 6 — выводы.

используют в качестве основных элементов усилителей сигналов, релейных формирователей, переключающих устройств. На их базе разработана масса полупроводниковых регуляторов, создана серия логических элементов «Логика Т».

К недостаткам транзисторов надо отнести зависимость их параметров и характеристик от температуры. Однако рядом схемных решений этот недостаток сегодня практически устраняется.

#### § 4. ТИРИСТОРЫ

Для управления мощными нагрузками применяют полупроводниковые приборы — *тиристоры* и *симисторы*, которые выпускают на токи до 1000 А.

Тиристоры (управляемые диоды) имеют четырехслойную структуру типа  $p-n-p-n$  и три электрода: анод, катод и управляющий электрод (рис. 104). Анодом 3 кремниевого тиристора является медное основание корпуса,

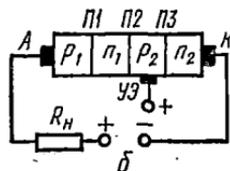
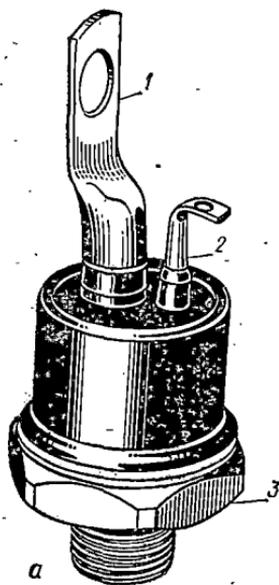


Рис. 104. Тиристор:  
а — общий вид: 1 — катод; 2 — управляющий электрод; 3 — анод; б — структура.

катодом 1 — гибкий медный вывод, управляющим электродом 2 — вывод.

Если анод тиристора подключить к минусу источника тока, а катод к плюсу, то переходы П1 и П3 будут закрыты и тиристор будет заперт. В цепи будет протекать небольшой ток утечки, не превышающий 0,01% номинального прямого тока. При этом напряжение не должно превышать значения, при котором происходит пробой и разрушение тиристора. Номинальное (рабочее) напряжение составляет обычно 60% от пробивного. Значение  $U_H/100$  определяет класс тиристора. Следует также учесть, что номинальное напряжение — это амплитудное значение напряжения, длительно выдерживаемое закрытым тиристором. Поэтому при включении тиристорov в сеть переменного тока  $U_H = \sqrt{2}U_c$ .

Если к электродам тиристора приложено напряжение в прямом направлении, то переходы П1 и П3 открыты, а переход П2 закрыт и тиристор заперт. Ток утечки увеличится незначительно.

Открыть тиристор можно двумя способами. Можно увеличить приложенное напряжение анод — катод до значения напряжения переключения. При этом сопротивление тиристора резко уменьшается и он открывается. Второй способ заключается в том, что в цепь управляющий электрод — катод подключают источник постоянного тока, вслед-

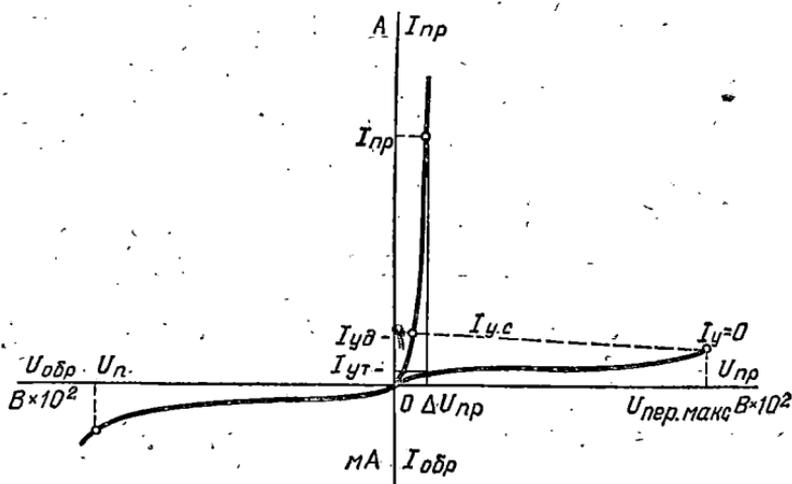


Рис. 105. Вольт-амперная характеристика тиристора при различных значениях тока управления.

ствии чего в цепи управления появляется ток, при этом тиристор включается при меньшем анодном напряжении.

Вольт-амперная характеристика тиристора приведена на рисунке 105.

## **Лабораторная работа 10**

### **Полупроводниковые приборы**

**Цель работы.** Ознакомиться с конструкцией, принципом работы и схематичным включением полупроводниковых приборов: диода, транзистора, тиристора.

**Приборы и оборудование.** 1). Источники переменного и постоянного напряжения. 2). Электроизмерительные приборы: вольтметр, амперметр, осциллограф. 3). Сопротивления. 4). Кнопки. 5). Переключатели.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с техническими характеристиками и схемами включения диода, транзистора, тиристора.

2. Собрать схему однополупериодного выпрямителя, измерить величину и зарисовать с экрана осциллографа картину тока в нагрузке.

3. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя, измерить величину и зарисовать картину тока в нагрузке.

4. Собрать схему транзисторного усилителя, снять входные и выходные характеристики.

5. Собрать схему тиристорного ключа. Снять входные и выходные характеристики.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите известные полупроводниковые приборы.
2. Что такое запирающий слой?
3. Нарисуйте вольт-амперные характеристики диода, тиристора.
4. Начертите схему двухполупериодного выпрямителя.
5. Что такое транзистор и где его используют?
6. Что такое элементы серии «Логика Т»?
7. Какие недостатки имеют полупроводниковые приборы?
8. Назовите основные области применения тиристор.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

### Глава X. ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

#### § 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическая энергия стала неременным условием развития современного сельского хозяйства. На конец девятой пятилетки ее израсходовано около 74 млрд. кВт·ч., в том числе 51 млрд. кВт·ч на производственные нужды, из них в животноводстве — 24 млрд., растениеводстве — 17 млрд. и прочие — 10 млрд. кВт·ч. Все колхозы и совхозы электрифицированы. Потребление электроэнергии в год составило в среднем на колхоз 600 тыс. кВт·ч, совхоз — 1100 тыс. кВт·ч. На одного работающего в сельском хозяйстве приходилось 2200 кВт·ч.

В колхозах и совхозах работало 8837 тыс. электродвигателей мощностью 46 160 тыс. кВт. На одно хозяйство приходилось 200 электродвигателей. За годы девятой пятилетки введено в действие около 900 тыс. км сельских линий электропередачи, в результате чего общая протяженность сельских сетей составила 3,3 млн. км, а суммарная мощность трансформаторных подстанций — 113 млн. кВт·А. 98% сельских потребителей подключено к государственным энергосистемам и электростанциям.

За девятую пятилетку сельское хозяйство получило электротехнической продукции и кабелей на 4,2 млрд. руб.

В десятой пятилетке потребление электрической энергии возрастет почти в 2 раза и достигнет к 1980 году 130 млрд. кВт·ч, в том числе 90 млрд. кВт·ч на производственные нужды, из них в животноводстве — 40 млрд., растениеводстве — 37 млрд. и прочие — 13 млрд. кВт·ч. В колхозах и совхозах будет работать 15 млн. электродвигателей мощностью 80 млн. кВт. На одного работающего будет приходиться 4300 кВт·ч.

С ростом электрических нагрузок будет продолжено строительство новых электрических линий. Будет осуществляться двухстороннее питание сельскохозяйственных потребителей от одного или разных источников.

В десятой пятилетке предусмотрена поставка электрооборудования, электроаппаратуры и кабельных изделий на 6 млрд. руб., что почти в 1,5 раза больше, чем в предыдущей пятилетке. Возрастут поставки электродвигателей и электрооборудования специального исполнения, обладающих повышенной надежностью и долговечностью.

Намечается переход к поставкам комплектного электрооборудования, которое включает все электроизделия, необходимые для оснащения машины, агрегата или комплекса.

В сельское хозяйство уже поставляют сложные многодвигательные системы с большим числом взаимосвязанных элементов, которые осуществляют автоматическое управление производительностью машин, температурой, влажностью и другими параметрами.

Широко будет внедряться освещение с использованием новых более экономичных источников света: металлогалогидных ламп ДРФ-1000 и безбалластных смешанного излучения ДРВ-750. Последние можно включать в сеть без пускорегулирующих аппаратов. Разработаны новые нормы искусственного освещения, которые в 7...10 раз выше старых, что положительно скажется на продуктивности животных.

Предусматривается более широкое внедрение ультрафиолетового и инфракрасного облучения. Особенно эффективно ультрафиолетовое облучение при выращивании молодняка и птицы.

Важное место в техническом переоснащении сельскохозяйственного производства принадлежит электротермии. Электроэнергия идет на питание водонагревателей, калориферов, электродных котлов, обогревательных устройств в парниках и теплицах. Электротепло и микроклимат в животноводческих помещениях повышают продуктивность скота при одновременном снижении расхода кормов, уменьшают заболеваемость и падеж, улучшают условия труда обслуживающего персонала, удлиняют срок службы строительных конструкций и технологического оборудования.

В растениеводстве защищенного грунта наиболее экономичен воздушно-почвенный обогрев с помощью электрокалориферов, нагревательных проводов и кабелей.

Электрическая сушка продуктов на обычной и высокой частоте обеспечивает равномерный нагрев, не влияет на семенные и продовольственные качества, не снижает содержания витаминов по сравнению с тепловой обработкой.

В сельскохозяйственное производство все больше внедряется электротехнология — непосредственное воздействие энергии на растения, животных и птицу.

Успешно проводятся работы по очистке и сортировке семян в электрическом поле; предпосевной обработке семян в электромагнитном поле высокой частоты, опыты по обмолоту зерновых культур с помощью энергии искровых разрядов, электрорассолению почв постоянным током.

Максимальная экономическая эффективность электрификации сельского хозяйства возможна при широкой комплексной электрификации и автоматизации производственных комплексов, которая предусматривает внедрение поточно-индустриальных методов производства, совершенной системы электрифицированных машин, прогрессивной организации труда. Для успешного внедрения комплексной электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства необходимо высококачественное и бесперебойное электроснабжение, научно обоснованная технология производственных процессов и всего комплекса, внедрение поточных линий, наличие высококвалифицированного технического персонала.

## **§ 2. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Электрическая энергия вырабатывается на электростанциях, где энергия различных видов преобразовывается в электрическую. В зависимости от вида используемой первичной энергии электростанции подразделяют на гидравлические (ГЭС), тепловые (ТЭС) и атомные (АЭС). Основным видом электростанций остаются тепловые, на долю которых приходится 87% всей вырабатываемой электроэнергии.

На гидравлических электростанциях первичной энергией является энергия водных потоков, которая при помощи гидрогенераторов (гидротурбина и электродвигатель) преобразуется в электрическую.

На тепловых электростанциях происходит преобразование химической энергии твердого, жидкого или газообразного топлива в электрическую. Тепловые электростанции могут быть паротурбинными, газотурбин-

ными и с двигателями внутреннего сгорания. На получивших наибольшее распространение паротурбинных электростанциях выделяющаяся при сгорании топлива теплота передается воде, нагревает ее и превращает в пар, который под давлением поступает на лопатки турбины, вращает ее ротор, и соединенный с ним ротор генератора, вырабатывающего электроэнергию. Тепловые электростанции, снабжающие потребителей электроэнергией, паром и горячей водой, называют *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ).

Атомные электростанции в качестве источника энергии используют ядерное топливо. В результате цепной реакции распада выделяется тепло, расходуемое на нагрев и превращение воды в пар, который поступает в паровую турбину. Процесс получения пара осуществляется по различным схемам и циклам. В остальном атомные электростанции подобны тепловым.

Ведут работы над освоением энергии солнца, тепла подземных вод, морских приливов и отливов, исследования по непосредственному преобразованию атомной и тепловой энергии в электрическую.

Различные электростанции соединяют в энергосистемы, а отдельные энергосистемы — в объединенные энергетические системы (ОЭС), которые обеспечивают экономичное использование оборудования и энергетических ресурсов. Дальнейшее развитие энергетики позволит в будущем создать Единую энергетическую систему СССР.

### **§ 3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

В настоящее время электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, как правило, осуществляется централизованно — от государственных энергосистем. Обычная схема централизованного электроснабжения выглядит так:

от высоковольтной линии (ЛЭП) 110 кВ энергосистемы (рис. 106) через подстанции 110/35 кВ отходят питающие линии напряжением 35 кВ. К ним присоединяют районные подстанции 35/6...10 кВ, от которых отходят распределительные линии 6...10 кВ. К этим линиям присоединяют понижающие потребительские подстанции 6...10/0,4 кВ, расположенные в населенных пунктах или вблизи животноводческих ферм, от которых энергия по низковольтным линиям напряжением 380/220 В распределяется потребителям.

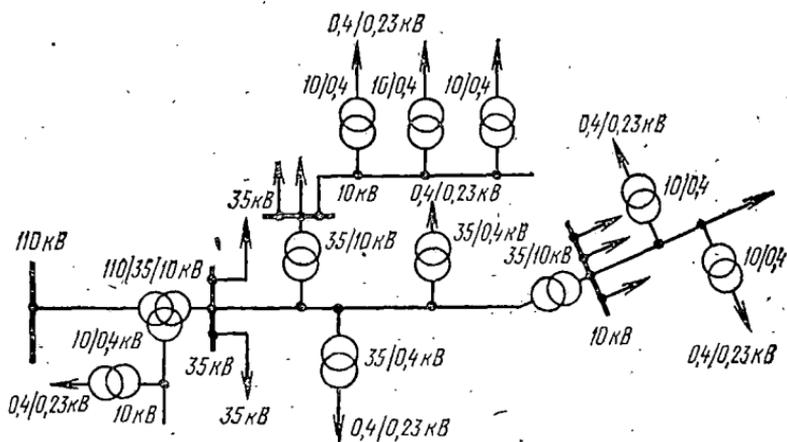


Рис. 106. Схема питания потребителей от энергосистемы.

Удаленные зерноочистительные токи и стригальные пункты снабжают энергией от передвижных электростанций с дизельными или карбюраторными двигателями внутреннего сгорания. Их также применяют в качестве резервных в случае перерыва питания от основного источника.

Все потребители разделены на три категории:

Первая категория — животноводческие комплексы по производству молока с поголовьем 800 и более коров; по выращиванию и откорму свиней на 12 тыс. и более голов, молодняка крупного рогатого скота на 10 тыс. и более голов; птицефабрики с поголовьем 100 тыс. и более кур-несушек или 1 млн. бройлеров; тепличные овощные комбинаты; комбикормовые заводы; зерносушильные комплексы и другие сельскохозяйственные предприятия с высокой степенью автоматизации. Электроснабжение таких потребителей осуществляется от двух трансформаторных подстанций, которые подключены к двум независимым линиям высокого напряжения.

Перерывы в электроснабжении потребителей этой группы не допускаются.

Вторая категория — электрифицированные доильные установки, небольшие парниковые хозяйства, колхозные и совхозные животноводческие и птицеводческие фермы, перерыв электроснабжения которых свыше 3,5 ч нарушает производственный процесс, что приводит к порче продукции.

Третья категория — все остальные потребители, не относящиеся к первой и второй категориям. Для них допускаются перерывы в электроснабжении для проведения ремонта электрооборудования, но не более чем на одни сутки.

#### § 4. ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

Различают повышающие и понижающие трансформаторные подстанции.

Повышающие подстанции сооружают в местах получения электроэнергии, с тем чтобы передавать ее на высоком напряжении, а понижающие — вблизи расположения потребителей. Подстанции, которые понижают напряжение питающей высоковольтной линии до напряжения потребителей (0,4/0,23 кВ), называют *потребительскими*.

В сельскохозяйственных районах применяют *открытые* (мачтовые, комплектные) и *закрытые* подстанции с трехфазными и однофазными трансформаторами.

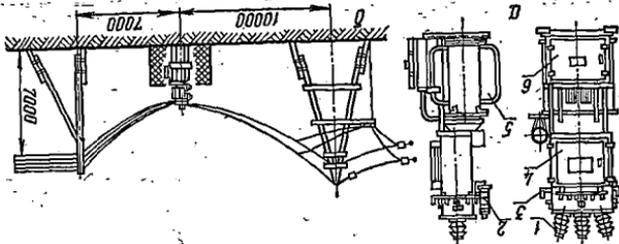
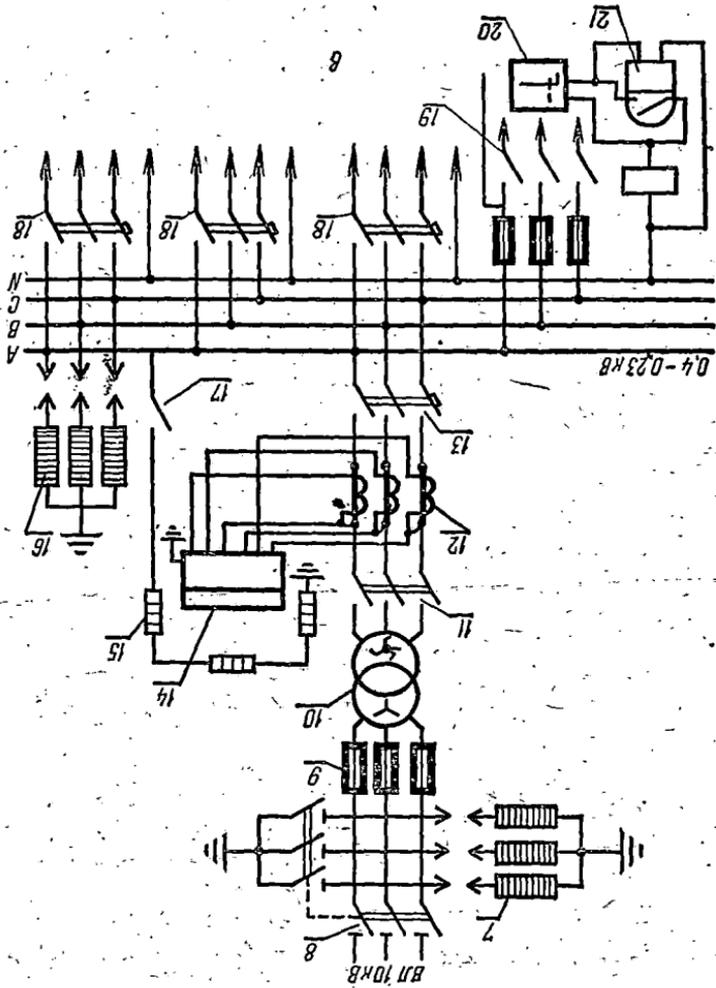
Комплектная трансформаторная подстанция типа КТП (рис. 107) состоит из трансформатора 5 и распределительных устройств (шкафов) низкого 6 и высокого 4 напряжения, в которых смонтирована вся необходимая коммутационная аппаратура.

Силовой трансформатор подстанции расположен под шкафом высокого напряжения. К высоковольтной линии он присоединен через разъединитель, устанавливаемый на концевой опоре ВЛ 10 кВ. В целях безопасности предусмотрена механическая блокировка привода разъединителя и двери шкафа высшего напряжения, не позволяющая открывать двери шкафа при включенном разъединителе.

Грозозащита подстанции осуществляется вентилящими разрядниками, установленными на вводе 10 кВ КТП и на выводах 0,4 кВ трансформатора; учет активной энергии

---

Рис. 107. Комплектная трансформаторная подстанция типа КТП-40:  
а — устройство; б — присоединение КТП к ВЛ 10 и 0,4 кВ; в — принципиальная схема: 1 — высоковольтный изолятор; 2 — разрядник; 3 — штырь для высоковольтных изоляторов; 4 — высоковольтное распределительное устройство; 5 — силовой трансформатор; 6 — распределительное устройство 0,4 кВ; 7 — разрядник РВС-10; 8 — разъединитель РЛНДА-1-10; 9 — предохранитель ПК-10; 10 — силовой трансформатор ТМ-40/10; 11 — рубильник Р-32; 12 — трансформатор тока ТК-20; 13 — автомат АП50-2МЗТО; 14 — счетчик СА4У-И672М; 15 — ревисторы обогрева счетчика; 16 — разрядник РВН-0,5; 17 — выключатель; 18 — автоматы АП50-2МЗТО; 19 — магнитный пускатель ПМЕ-211; 20 — переключатель; 21 — фотореле ФР-2.



выполняет трехфазный счетчик, присоединенный к сети через трансформаторы тока.

Монтаж такой подстанции прост: он сводится к установке ее на фундамент, присоединению подходящей и отходящей линий и заземлению кожуха.

Для неогражденных подстанций расстояние от земли до высоковольтного ввода 10 кВ должно быть не менее 4,5 м.

Там, где в состав сельскохозяйственных потребителей входят электродвигатели, электрифицированные теплицы и парники, инкубатории и т. п., рекомендуется строить закрытые подстанции. Металлические части подстанций всех типов соединяют с контуром заземления. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 10 Ом при мощности трансформатора до 100 кВ·А и 4 Ом при мощности, большей 100 кВ·А.

## § 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО НАПЯЖЕНИЯ

Электрическая энергия от электростанций к потребителям передается по линиям высокого (свыше 1000 В) и низкого (до 1000 В) напряжения.

В сельских районах сооружают трехпроводные обычные воздушные высоковольтные линии напряжением 6, 10, 20 и 35 кВ, а низковольтные (воздушные и кабельные) напряжением 380/220 В с глухозаземленным нулевым проводом. Напряжение 6 кВ для вновь строящихся линий не рекомендуется.

Основные элементы воздушной линии — опоры, провода, изоляторы и арматура.

На деревянных или железобетонных **о п о р а х** подвешивают провода. Деревянные опоры (сосна, лиственница, а также пихта, ель) пропитывают антисептиком и, как правило, прикрепляют к железобетонным приставкам — пасынкам. *Промежуточные* опоры устанавливают на прямых участках; *анкерные* — в местах пересечения дорог, оврагов, путей сообщения; *угловые* — там, где изменяется направление линии; *концевые* — на концах линии.

Для воздушных линий применяют **п р о в о д а**: голые алюминиевые (А), стале-алюминиевые (АС), стальные многопроволочные (ПС, ПСМ) и однопроволочные (ПСО).

Сечение проводов воздушной линии выбирают по условиям допустимых значений нагрева, потери напряжения и механической прочности.

По условиям механической прочности сечение алюминиевых проводов линии напряжением 6—35 кВ должно быть не менее 35 мм<sup>2</sup>, стале-алюминиевых и стальных — не менее 25 мм<sup>2</sup>. В ненаселенной местности допускается применение алюминиевых проводов сечением 25 мм<sup>2</sup>, стале-алюминиевых 16 мм<sup>2</sup>, стальных 25 мм<sup>2</sup>. Для низковольтных линий напряжением 380 и 220 В минимальные сечения алюминиевых проводов 16 мм<sup>2</sup>, стальных многопроволочных — 25 мм<sup>2</sup>, а наименьший диаметр стальных однопроволочных проводов 4 мм.

Кабельные линии применяют в густонаселенных сельских поселках городского типа. Использование кабеля той или иной марки зависит от способа прокладки и характера окружающей среды. Глубина заделки кабеля не менее 0,7 м, а в местах пересечений — не менее 1 м. Кабели напряжением до 20 кВ на всем протяжении защищают от механических повреждений слоем красного кирпича или специальными плитами, а кабели напряжением до 1000 В — там, где возможны механические повреждения.

**Изоляторы** — штыревые и подвесные, фарфоровые и стеклянные — служат для крепления проводов и изоляции их от опор.

**Арматура** — это различные металлические детали, используемые для соединения проводов и тросов, крепления проводов и тросов к изоляторам. К опорам изоляторы крепят при помощи штырей и крюков. К штыревым изоляторам провода присоединяют проволочной вязкой, к подвесным — зажимами.

## § 6. ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Осветительные и силовые сети, прокладываемые внутри помещений и представляющие совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями, называют *электропроводками*.

По способу выполнения различают открытые и скрытые электропроводки, а по назначению — осветительные и силовые.

**Открытую** проводку прокладывают непосредственно по поверхности стен, потолков на роликах, изоляторах, клицах и тросах, в пластмассовых и стальных трубах; **скрытую** — под штукатуркой, в пластмассовых и стальных трубах, располагаемых в стенах, полах и перекрытиях.

Вид электропроводки, способ ее прокладки и марку провода выбирают с учетом условий среды в помещении, особенностей строительных конструкций, удобств, простоты и возможности получения более низких расходов на эксплуатацию при соблюдении во всех случаях требований электро- и пожаробезопасности.

В зависимости от условий среды все сельскохозяйственные помещения подразделяют на следующие типы: *сухие* — жилые и общественные помещения, помещения для обслуживающего персонала ферм и т. п.; *влажные* — неотапливаемые склады, кухни и др.; *сырые* — овощехранилища, доильные залы и т. п.; *особо сырые* — кормоцехи, теплицы, парники и др.; *особо сырые с химически активной средой* — коровники, свинарники, телятники и др.; *пыльные* — комбикормовые заводы, зерноочистительные тока; *пожароопасные* — овины, мельницы, зернохранилища; *взрывоопасные* — склады ТСМ, нефтебазы.

Силовую и осветительную проводку часто выполняют совместно напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью, что позволяет использовать их для питания силовых (380 В) и осветительных (220 В) электроприемников и выполнять защитное зануление.

В помещениях с повышенной опасностью (мастерские, животноводческие фермы) для питания переносных светильников, ручных электрифицированных инструментов напряжение не должно превышать 36 В, а в особо опасных (силовые и сенажные башни, транцеи) — 12 В.

Воздушные или кабельные линии, идущие от подстанции (электростанции), присоединяют к распределительным устройствам (пунктам) помещений. Силовые распределительные шкафы серии ПР-9000 содержат до 30 встроенных автоматов АЗ100, шкафы серии СП, СПУ выполнены на вводе и выводе по схеме рубильник — предохранитель. Осветительные щитки серий ОЩ, ОП, ОПВ снабжены однополюсными автоматами и рассчитаны на 6 и 12 однофазных групп.

Для освещения производственных помещений применяют открытую проводку на крюках, якорях и полуякорях с изоляторами проводами АПР (провод с алюминиевой жилой с резиновой изоляцией в пропитанной оплетке, одножильный) или АПРВ (провод одножильный с алюминиевой жилой с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке).

Осветительные и силовые проводки в жилых и произ-

водственных помещениях, включая животноводческие и птицеводческие помещения с деревянными потолками и стенами, выполняют проводом АППР (провод с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией, не распространяющей горение). Провод АППР закрепляют гвоздями к деревянным конструкциям.

Силовые и осветительные тросовые проводки применяют в закрытых, сухих, влажных, сырых, жарких, пыльных и с химически активной средой помещениях, сооруженных из железобетонных конструкций. Тросовые электропроводки в зависимости от условий среды выполняют проводами АПРВ, АПВ (провод с алюминиевой жилой с поливинилхлоридной изоляцией), АПР, кабелями АНРГ (кабель силовой с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией в резиновой негорючей оболочке), АВРГ (кабель силовой с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке) и специальными тросовыми проводами АРТ (провод с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией и несущим стальным тросом) и АВТС (провод с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией и несущим стальным тросом). Провода и кабели крепят к тросу непосредственно скобами (АПРВ, АПВ, АНРГ, АВРГ) при помощи пластмассовых (АПР) или стальных подвесок (АНРГ, АВРГ) на изоляторах и роликах (АПР). В качестве троса используют стальную оцинкованную или окрашенную проволоку (катанку) диаметром 3...8 мм.

В пожароопасных и взрывоопасных помещениях проводку выполняют проводами АПВ и АПРТО (провод с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией, в оплетке, пропитанной противогнилостным составом), прокладывая их в трубах; осветительные проводки в жилых, административных и культурных помещениях, сооруженных из кирпича и бетона, выполняют скрыто проводами АППВС (провод с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией, плоский для скрытой проводки), АПН (провод с алюминиевой жилой с найритовой резиновой изоляцией без оплетки, светостойкий) и АПВ.

Силовые проводки выполняют кабелями АВРГ, АНРГ, АВВ (кабель силовой с алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой), АПВ (кабель силовой с алюминиевыми жилами, с полиэтиленовой изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке) на скобах, в каналах, а также проводом АПВ, АПРТО в пластмассовых или тонкостенных стальных трубах.

Электропроводку в трубах применяют в основном для подводки к электродвигателям в условиях, когда другая защита проводов или применение кабелей недопустимы.

Для подключения передвижных потребителей, как внутри, так и на открытых пространствах (зерноочистительные машины, погрузчики, транспортеры, кран-балки и тельферы, переносной электрифицированный инструмент); используют переносные гибкие кабели АКРПТ и КРПТ. Для сельскохозяйственного производства разработан и освоен кабель гибкий переносной марки КРПГII-СХ. Этот кабель обладает повышенной вибростойкостью и механической прочностью по сравнению с кабелем КРПТ.

Минимальное допустимое сечение проводов в случае прокладки на изоляторах: алюминиевых — 4 мм<sup>2</sup>, медных — 1,5 мм<sup>2</sup>, при прокладке на роликах или в трубах — алюминиевых 2,5 мм<sup>2</sup>, медных — 1 мм<sup>2</sup>.

## § 7. ПОТРЕБЛЕНИЕ И ОПЛАТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Сельскохозяйственным организациям (колхозам, совхозам и др.) электроэнергия от государственных энергосистем отпускается по договору с электроснабжающей организацией. Учет электроэнергии осуществляется однофазными и трехфазными счетчиками активной энергии.

Колхозы, совхозы, птицефабрики, откормочные хозяйства и другие сельскохозяйственные предприятия, непосредственно производящие продукцию, оплачивают за электроэнергию по одноставочному тарифу. Одноставочный тариф предусматривает оплату за электроэнергию, учтенную счетчиком активной энергии.

Электроэнергия, отпускаемая на производственные нужды, оплачивается по льготному тарифу 1 коп. за кВт·ч. Электроэнергия, расходуемая на коммунально-бытовые и другие непроизводственные нужды, оплачивается по повышенным тарифам.

Предприятия объединения Госкомсельхозтехники, системы заготовок и переработки сельскохозяйственных продуктов, расположенные в сельской местности, оплачивают за электроэнергию по двухставочному тарифу. Он состоит из основной ставки (оплата в год за каждый киловольт-ампер установленной мощности силовых трансформаторов, если суммарная мощность не менее 100 кВт·А) и дополнительной ставки (оплата за 1 кВт·ч активной энергии, учтенной счетчиком).

Двухставочный тариф предусматривает применение шкалы скидок и надбавок к тарифу за cos φ. За электроэнергию платят через организации Энергосбыта.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие типы электростанций Вы знаете?
2. Что такое централизованное электроснабжение и каковы его преимущества?
3. Из каких основных элементов состоит трансформаторная подстанция?
4. Для чего на трансформаторной подстанции предусмотрена механическая блокировка привода разъединителя и двери шкафа высшего напряжения?
5. Каково назначение линий электропередачи?
6. Из каких материалов изготавливают провода линий электропередачи?
7. Расскажите о типах внутренних электропроводок.
8. Какие провода и в каких помещениях используют для внутренних электропроводок?
9. По какому условию выбирают сечение проводов внутренних электропроводок?

## **Глава XI. АППАРАТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

### **§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Современный этап развития сельского хозяйства характеризуется специализацией, концентрацией и агропромышленной интеграцией производства, что способствует внедрению комплексной механизации и автоматизации технологических процессов.

Автоматизация является одним из решающих направлений научно-технического прогресса и роста производительности труда. Основой автоматизации является поточность и цикличность выполнения производственных процессов. По степени автоматизации производственных процессов различают частичную, комплексную и полную автоматизацию.

Частичная автоматизация характеризуется автоматизацией отдельных технологических операций. Она облегчает труд рабочего, но не освобождает его от участия в производственном процессе.

Комплексная автоматизация означает автоматическое управление технологическим процессом по заранее заданным программам с помощью различных автоматических устройств, объединенных общей системой управления.

При полной автоматизации функции выбора и согласования режимов работы отдельных машин и агрегатов выполняет не человек, а специальные автоматические устройства. Обслуживающий персонал осуществляет только периодический осмотр, ремонт и перестройку всей системы на новые режимы работы.

Основные виды автоматизации следующие:

автоматический контроль за ходом протекания технологической операции; автоматическая защита электроустановок от ненормальных режимов (например, отключение электроустановки при возникновении в ней короткого замыкания); автоматическое управление, когда с помощью технических средств и методов без участия обслуживающего персонала обеспечивается соблюдение требуемых значений параметров протекания технологического процесса.

Совокупность автоматических управляющих устройств с объектами управления называется *автоматической системой управления* (АСУ). Разновидностью автоматического управления является автоматическое регулирование, под которым надо понимать процесс автоматического поддержания какого-либо параметра на заданном уровне или изменения его по определенному закону. Автоматическая система, состоящая из регулятора и объекта регулирования, называется *автоматической системой регулирования* (АСР). В систему автоматического управления входят управляемые объекты, управляющие устройства. Управляемые объекты — инкубаторы, облучающие установки, физические величины которых необходимо сохранить или изменить по требуемому закону — алгоритму управления. Например, в теплице поддерживается заданная температура почвы и воздуха. Управляющее устройство осуществляет воздействие на управляемый объект в соответствии с алгоритмом управления. Такие воздействия на управляемый объект относятся к внутренним воздействиям (обозначают  $Z(t)$ ), которые передаются внутри от одной части автоматической системы на другую. Воздействия, поступающие из внешней среды непосредственно на управляемый объект, называют возмущениями и обозначают через  $F(t)$ . Воздей-

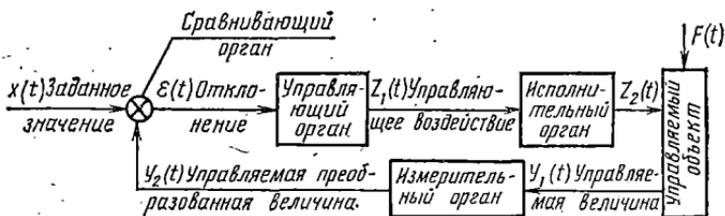


Рис. 108. Структурная схема АСУ, построенная по принципу отклонения.

ствия, которые подаются сознательно на вход системы, называют задающими или входными и обозначают через  $X(t)$ . Они относятся к внешним воздействиям, как и возмущения.

Управляемые величины называют выходными и обозначают через  $Y(t)$ .

Автоматическая система управления основана на трех принципах: по отклонению управляемой величины, по внешнему и комбинированному воздействию. На рисунке 108 показана структурная схема АСУ, построенная по принципу управления по отклонению.

Измерительный орган воспринимает значение управляемой величины  $y_1(t)$  и преобразует ее в электрическую  $y_2(t)$ , которая поступает на сравнивающий орган. Он вырабатывает сигнал отклонения от заданного значения, равный  $x(t) - y_2(t)$ . Управляющий орган усиливает сигнал отклонения и создает управляющее воздействие  $z_1(t)$ . Исполнительный орган, принимая управляющее воздействие  $z_1(t)$ , в свою очередь, создает управляющее воздействие  $z_2(t)$ , которое прикладывается к управляемому объекту, чтобы свести отклонение к нулю.

Недостаток этого принципа управления заключается в том, что трудно добиться точности управления из-за

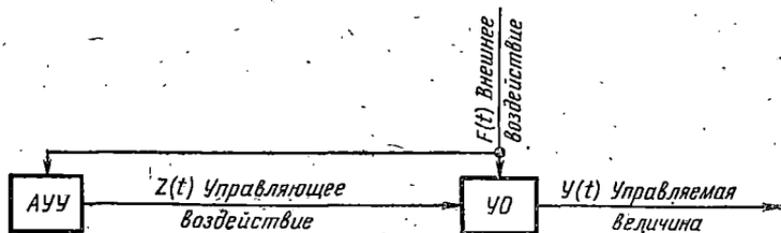


Рис. 109. Структурная схема АСУ, построенная по принципу внешнего воздействия.

запаздывания прохождения управляющего воздействия. На рисунке 109 дана структурная схема управления по компенсации возмущения. Внешнее воздействие  $F(t)$  подается на измерительный орган автоматического управляющего устройства (АУУ), где вырабатывается управляющее воздействие  $z(t)$ , которое прикладывается к управляемому объекту, и оно компенсирует влияние внешнего воздействия. Такие схемы управления быстродействующие.

Принцип комбинированного управления включает в себя оба предыдущих принципа. Он более точен и совершенен.

## § 2. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Автоматизация сельскохозяйственного производства — одно из главных направлений в области электрификации сельского хозяйства.

Эффективность автоматизации определяется рядом показателей.

Капитальные затраты — одна из основных исходных величин при расчетах экономической эффективности автоматизации; их определяют по формуле:

$$K = K_c + K_m + K_z + K_o - K_p, \quad (182)$$

где  $K_c$  — стоимость средств автоматизации с учетом их доставки, монтажа и наладки;

$K_m$  — затраты на модернизацию действующей техники и технологии, вызванную автоматизацией;

$K_z$  — стоимость строительства и реконструкции зданий в связи с внедрением автоматизации;

$K_o$  — остаточная стоимость основных средств, подлежащих ликвидации при внедрении устройств автоматики;

$K_p$  — стоимость, полученная от реализации ликвидируемых основных средств.

Годовые эксплуатационные издержки производства  $I$  складываются из амортизационных отчислений  $I_o$ , отчислений  $I_r$  на текущий ремонт, затрат на зарплату обслуживающего персонала  $I_z$ , стоимости электроэнергии  $I_e$ , стоимости топливо-смазочных материалов  $I_r$ :

$$I = I_o + I_r + I_z + I_e + I_r. \quad (183)$$

Экономия годовых эксплуатационных издержек равна:

$$\Delta_n = I_n - I_a \pm D, \quad (184)$$

где  $I_n$  — годовые издержки при неавтоматизированном производстве;

$I_a$  — то же, при автоматизированном производстве;

$D$  — дополнительный доход (при знаке плюс) за счет увеличения качества продукции, снижения потерь и т. п. или убыток (при знаке минус) за счет перерасхода материалов и т. п.

Срок окупаемости капитальных затрат определяется как:

$$T_o = \frac{K_a - K_n}{I_n - I_a}, \quad (185)$$

где  $K_a$  и  $K_n$  — капитальные затраты соответственно на автоматизированное и неавтоматизированное производство,  $K_a > K_n$ ;

$I_n$  и  $I_a$  — эксплуатационные годовые издержки неавтоматизированного и автоматизированного производства,  $I_n > I_a$ .

Чем меньше срок окупаемости, тем эффективнее автоматизация.

Производительность труда — важнейший показатель экономической эффективности автоматизации. Она отражает затраты рабочего времени на производство единицы продукции:

$$P = \frac{P_n - P_a}{P_n} 100\%, \quad (186)$$

где  $P_n$  и  $P_a$  — затраты труда на единицу продукции соответственно при неавтоматизированном и автоматизированном производстве.

Рентабельность производства характеризует уровень доходности производства, то есть относительное значение чистой прибыли

$$P = \frac{Ц - С}{С} 100\%, \quad (187)$$

где  $Ц$  — оптовая цена продукции;  
 $С$  — себестоимость продукции.

### § 3. ДАТЧИКИ И РЕЛЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

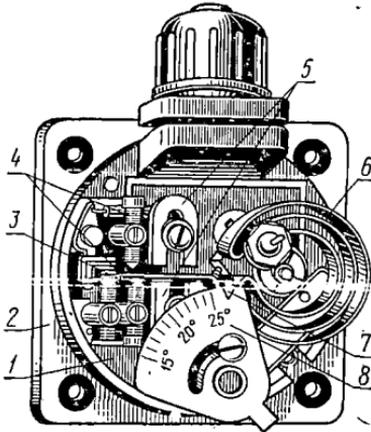


Рис. 110. Датчик температуры ДТКМ:

1— пластмассовый диск; 2— основание; 3— контакт; 4— упорные винты; 5— постоянные магниты; 6— спираль из биметалла; 7— указательная стрелка; 8— шкала.

Автоматическое управление (регулирование) технологическими процессами возможно при наличии необходимой информации о ходе выполнения операций. Это достигается комплексом разнообразных электрических и неэлектрических датчиков, которые измеряют параметры технологических режимов, преобразуют их в сигналы, удобные для дальнейшей передачи по системе АСУ. Рассмотрим некоторые датчики.

**Датчики температуры.** В датчиках температуры происходит преобразование неэлектрической управляемой величины (температуры) в электрическую.

Датчик температуры ДТКМ (рис. 110) имеет чувствительный элемент в виде биметаллической спирали 6.

Один конец спирали закреплен жестко, а другой свободно, он действует на подвижный контакт 3. При изменении температуры спираль закручивается или раскручивается и происходит переключение контактов. Такие датчики применяются в автоматических схемах управления установками микроклимата. У дилатометрического датчика (рис. 111) внутри латунной трубки 1 помещены инварные пружины 3 с изолированными от них контактами 4. Трубка

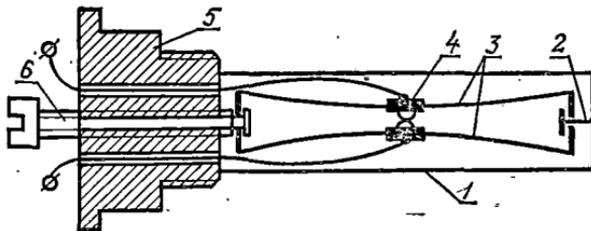


Рис. 111. Температурное реле типа ТР:

1— латунная трубка; 2— упор; 3— инварные пружины; 4— контакт; 5— корпус; 6— регулировочный винт.

помещена в рабочую среду. При нагреве трубка удлиняется больше, чем инварные пружины. Упор 2 прижимается к пружинам, вызывает их растяжение и размыкание контактов 4. С понижением температуры трубка укорачивается и контакты замыкаются.

Полупроводниковые терморезисторы используют в датчиках температуры (термореле ПТР-2, ПТР-3). Они обладают свойством изменять электрическое сопротивление при изменении температуры. Терморезисторы, у которых с повышением температуры сопротивление уменьшается, называются термисторами, а у которых повышается — позисторами. Воспринимающий орган у термисторов изготовлен из медно-марганцевых или кадмиево-марганцевых полупроводниковых порошков со специальными добавками. Позисторы изготавливают из титана или бария со специально подобранными примесями. Полупроводниковые термосопротивления имеют малые размеры, поэтому их можно помещать в любую труднодоступную точку.

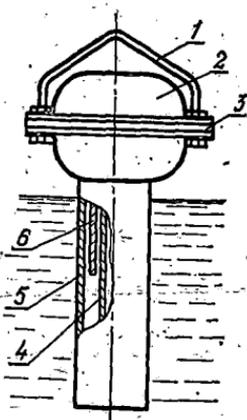


Рис. 112. Схема электродного датчика:

1 — скоба для подвески датчика; 2 — защитный кожух; 3 — панель-зажим; 4 — внутренняя длинная труба; 5 — наружная; 6 — короткая внутренняя труба.

**Электродный датчик уровней** (рис. 112) представляет собой три соосных трубы (три электрода), смонтированных на панели 3.

Наружная труба 5 и внутренняя длинная труба 4 составляют контакт нижнего уровня, а наружная труба 5 и короткая внутренняя 6 — контакт верхнего уровня. Контакты датчика замыкаются и размыкаются водой.

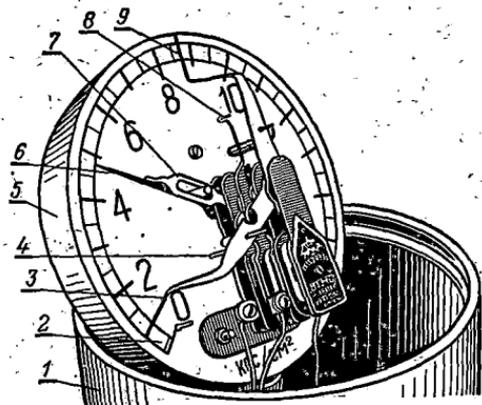


Рис. 113. Электроконтактный манометр:

1 — корпус; 2 — шкала; 3 — указатель нижнего предела давления; 4 — контакт; 5 — упругая трубка; 6 — стрелка; 7 — контакт; 8 — контакт; 9 — указатель верхнего предела давления.

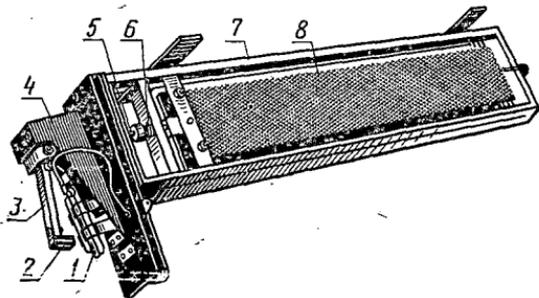


Рис. 114. Реле увлажнения:

1 — ртутно-магнитный выключатель; 2 — постоянный магнит; 3 — рычаг; 4 — подвеска; 5 — игла; 6 — пружина; 7 — рамка; 8 — вискозная лента.

**Датчики давления** применяют для измерения сил давления жидкостей и газов. В сельскохозяйственной практике наибольшее распространение получили датчики с механическими воспринимающими органами: мембранные, сильфонные с манометрическими трубчатymi пружинами. В датчике с манометрической трубчатой пружиной (рис. 113) изогнутая по дуге тонкостенная упругая трубка 5 стремится выпрямиться при увеличении давления контролируемой среды внутри нее. Перемещение свободного конца трубки приводит в действие стрелку 6, несущую контакт 7. Указатель верхнего предела давления 9 имеет контакт 8, указатель нижнего предела 3 — контакт 4. При достижении верхнего предела контролируемой среды замыкаются контакты 7 и 8, при достижении нижнего предела замыкаются контакты 7 и 4.

**Датчики влажности.** В практике используют датчики, определяющие влажность воздуха психрометрическим и косвенным методом. Косвенный метод позволяет определить влажность по вспомогательным физическим величинам, имеющим тесную количественную связь с влажностью среды.

Чувствительным элементом реле увлажнения (рис. 114) является вискозная лента 8, натянутая на рамке 7. Один конец рамки закреплен неподвижно, а другой — подвижный. При понижении влажности вискозная лента 8 высыхает и укорачивается. Игла 5 отводит рычаг 3 с постоянным магнитом 2 от колбы ртутно-магнитного выключателя 1, его контакт замыкается. При увеличении влажности воздуха вискозная лента намокает и удлиняется. Игла 5 при-

ближает рычаг 3 с постоянным магнитом 2 к колбе ртутно-магнитного выключателя, контакты его размыкаются.

**Оптические датчики** реагируют на появление и исчезновение светового луча и на изменение освещенности. Воспринимающим органом в оптических датчиках являются фоторезисторы, фотодиоды, фототриоды, фототиристоры.

Фоторезистор (рис. 115) представляет собой тонкий слой полупроводникового материала 4, нанесенный на изоляционную пластину 5. Пластина запрессована в пластмассовую оправку 2 с отверстием для прохода световых лучей. Открытую часть полупроводникового слоя покрывают светопроницаемым лаком 3. С противоположной стороны к полупроводниковому слою крепят электроды 1 для включения фоторезистора в электрическую цепь.

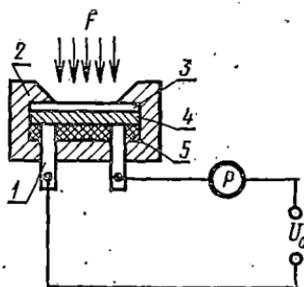


Рис. 115. Фоторезистор:  
1 — электрод; 2 — оправка; 3 — слой лака; 4 — полупроводниковый материал; 5 — изоляционная пластина.

Принцип действия фоторезисторов основан на резком уменьшении сопротивления под действием светового потока. Это явление объясняется увеличением свободных электронов под действием световой энергии и носит название *внутреннего фотоэффекта*. Изменение сопротивления вызывает изменение тока в цепи фоторезистора при подаче напряжения от внешнего источника. Фоторезисторы применяют в схемах фотореле, контроля пламени теплогенераторов.

Фотодиоды и фототриоды являются полупроводниковыми преобразователями лучистой энергии в э. д. с. Фототриоды, кроме того, обладают свойством усиления фототока.

Внешне фотодиоды и фототриоды представляют собой металлический или пластмассовый корпус небольших размеров (диаметр 4..12 мм) с окном и гибкими выводами. Недостатком данных датчиков является зависимость их параметров от температуры.

#### § 4. КОНЕЧНЫЕ, ПУТЕВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И МИКРОПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Конечные и путевые выключатели и микропереключатели применяют, когда в зависимости от пройденного пути или угла поворота рабочий орган нужно остановить или

дать ему обратный ход. Безмоментные конечные выключатели типа ВК-411 срабатывают от механического воздействия на стальной шток деталями движущихся объектов. Происходит замыкание одних и размыкание других контактов. В конечных выключателях ВК-211, ВПК контакты срабатывают мгновенно, вне зависимости от скорости движения рабочего органа. Этим исключается подгорание контактов.

Микропереключатели типа МП имеют по одному замыкающему и размыкающему контакту с общей точкой. Небольшие габариты, быстрота срабатывания, незначительные усилия нажатия упора и малое перемещение штока позволяют использовать их в схемах датчиков и реле.

## § 5. КНОПКИ УПРАВЛЕНИЯ И УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Кнопки управления предназначены для ручного дистанционного управления электромагнитными аппаратами переменного тока до напряжения 500 В и постоянного тока до 440 В. Кнопки управления состоят из одно-, двух- и трехкнопочных элементов. Кнопочный элемент (рис. 116)

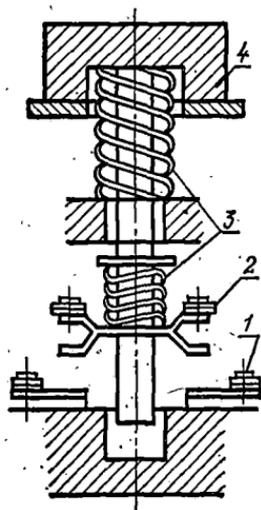


Рис. 116. Кнопочный элемент:

1 — неподвижный контакт; 2 — подвижный контакт; 3 — пружина; 4 — толкатель.

имеет две пары электрических несвязанных контактов — неподвижных 1 и подвижных 2. При нажатии толкателя 4 подвижные контакты прижимаются к неподвижным. При снятии усилия с толкателя контакты размыкаются под действием пружины 3. Такие контакты называются замыкающими («Пуск»). Если при нажатии на толкатель контакты размыкаются, их называют размыкающими («Стоп»). Кнопочные элементы могут иметь четыре пары контактов: две пары замыкающих и две пары размыкающих.

Универсальные переключатели (УП) используют в цепях управления автоматических схем для установления режимов работы. Они состоят из набора секций 1 (рис. 117), стянутых шпильками 2. Секции ограничены пластмассовыми перегородками 4. Каждая секция имеет два подвижных

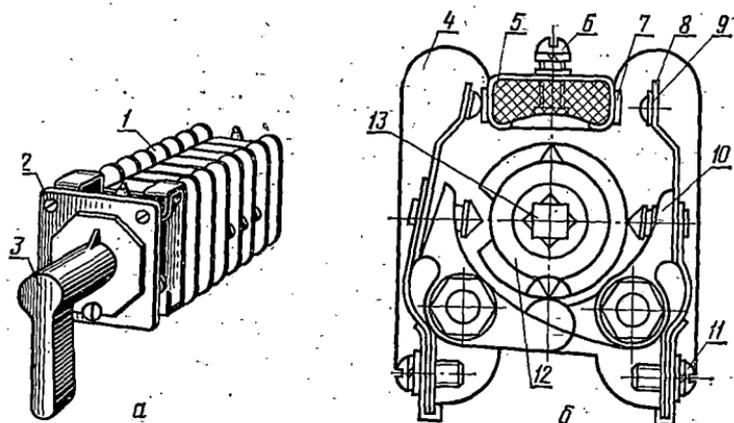


Рис. 117. Универсальный переключатель УП-5300:

*а* — общий вид; *б* — секция переключателя; 1 — секция; 2 — шпилька; 3 — рукоятка; 4 — перегородка; 5 — скоба; 6 и 11 — зажимы; 7 — неподвижный контакт; 8 — пальцевый контакт; 9 — контактная напайка; 10 — скоба включения; 12 — шайба; 13 — валик.

контакта 8 с контактными напайками 9, скобу 5 с неподвижными контактами 7, зажимы присоединения 11 и механизм переключения контактов. На центральный валик 13 в каждой секции насажены профильные шайбы 12. При повороте валика с помощью рукоятки 3 поворачиваются в секциях профильные шайбы, которые, воздействуя на скобы 10 включения, под действием пружин переключают контакты 7 и 8. Наличие нескольких десятков разновидностей профильных шайб дает возможность получить множество комбинаций размыкания и замыкания контактов.

## § 6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ (ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ) РЕЛЕ

**Реле** — это большая группа приборов, которые автоматически выполняют необходимые переключения в вспомогательных электрических цепях под влиянием изменения контролируемой величины, улавливаемой датчиком. Обычно реле устанавливают в цепях автоматического управления между датчиками и магнитными пускателями, и называют их промежуточные реле.

Реле выполняют также функции размножителя цепей, по которым передаются электрические сигналы, и усилителя электрических сигналов, мощность которых недостаточна для непосредственного воздействия на всю оператив-

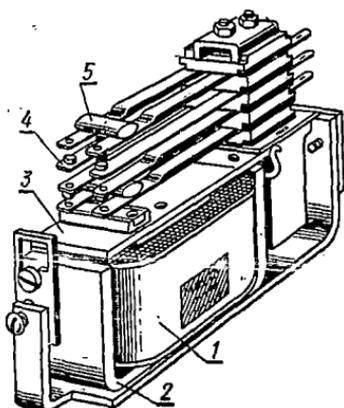


Рис. 118. Реле типа МКУ-48:

1 — втягивающая катушка; 2 — ярмо; 3 — якорь; 4 — контакт; 5 — изолирующий мостик.

ную цепь, но достаточна для включения и выключения катушки реле.

В схемах управления чаще применяют электромагнитные нейтральные реле постоянного и переменного тока типа МКУ-48, ПЭ, РП-23-26, ЭП, не реагирующие на полярность входного сигнала.

Электромагнитное реле (рис. 118) состоит из катушки 1, ярма 2, якоря 3, контактов 4 и изолирующего мостика 5. Сердечник реле переменного тока, находящийся внутри катушки, имеет короткозамкнутый виток, устраняющий вибрацию якоря.

Напряжение катушки может быть от 12 до 500 В, длительный ток, протекающий через контакты — от 5 до 20 А.

При подаче напряжения на катушку сердечник намагничивается и притягивает к себе якорь. Перемещение якоря вызывает мгновенное переключение контактов. При снятии напряжения якорь и контакты возвращаются в исходное положение усилием противодействующей пружины.

Основными параметрами реле являются параметр срабатывания и параметр отпускания. Параметр срабатывания — минимальное значение входного сигнала, при котором переключаются контакты. Параметр отпускания — максимальное значение входного сигнала, при котором происходит возврат контактов в исходное состояние. Оба параметра связаны между собой коэффициентом возврата ( $K_B$ ):

$$K_B = \frac{P_{отп}}{P_{ср.}} = \frac{I_{отп} U_{отп}}{I_{ср} U_{ср}}, \quad (188)$$

где  $P_{отп}$ ,  $I_{отп}$  и  $U_{отп}$  — соответственно мощность, сила тока и напряжение, соответствующие отпусканию реле;

$P_{ср}$ ,  $I_{ср}$  и  $U_{ср}$  — соответственно мощность, сила тока и напряжение, соответствующие срабатыванию реле.

## § 7. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ И ПРОГРАММНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для получения определённой выдержки времени при включении и отключении различных исполнительных органов, а также обеспечения нужной продолжительности процесса используют реле времени. Задержка сигналов осуществляется с использованием различных принципов: электрического, механического, пневматического и других.

На рисунке 119 дана схема реле времени типа РВП-2 с пневматическим замедлителем, которое имеет контакты мгновенного действия и контакты, срабатывающие с выдержкой времени, то есть происходит задержка в замыкании замыкающих и размыкании размыкающих контактов.

Пневматический замедлитель контактов состоит из камеры 4, диафрагмы 6, выпускного клапана 5, отверстия 7 и иглы 8. При включении реле катушка 1 втягивает якорь 2, сжимается пружина 10 и мгновенно переключаются контакты микропереключателя 1МП. Под действием пружины 3 колодка 9, связанная с прорезиненной диафрагмой 6, перемещается вниз. Скорость перемещения зависит от величины отверстия 7, так как через него засасывается воздух в верхнюю полость камеры 4. Чем меньше отверстие, тем медленнее движется диафрагма 6 и колодка 9. Когда колодка опустится в крайнее положение, контакты микропереключателя 2МП переключатся. Выдержку времени регулируют иглой 8, которая меняет сечение всасывающего отверстия 7. При отключении реле колодка под действием пружины 10 быстро займет свое первоначальное положение, воздух выйдет из верхней части камеры 4 наружу через выпускной клапан 5. Контакты микропереключателей 1МП и 2МП также быстро переключатся.

Программное моторное реле времени типа ВС используют при управлении длительными циклическими технологическими процессами.

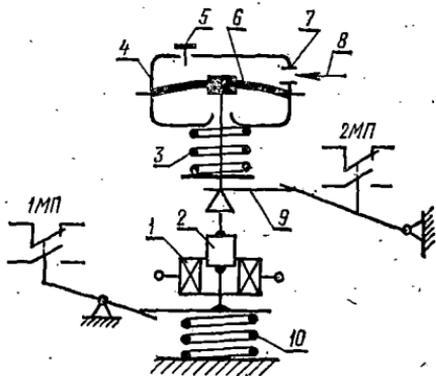


Рис. 119. Схема устройства реле времени РВП-2:

1 — катушка; 2 — якорь; 3 — пружина; 4 — камера; 5 — выпускной клапан; 6 — диафрагма; 7 — всасывающее отверстие; 8 — игла; 9 — колодка; 10 — пружина.

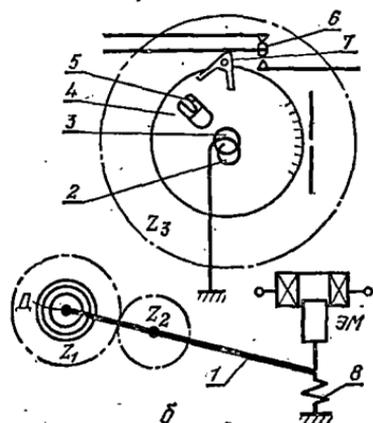
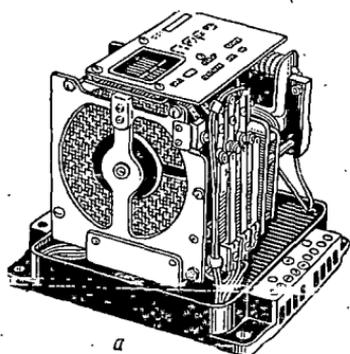


Рис. 120. Программное реле времени ВС-10:

а — общий вид; б — схема устройства; 1 — рычаг; 2 — возвратная пружина; 3 — ось; 4 — диск; 5 — упор; 6 — контакты; 7 — кулачок; 8 — пружина.

Выдержка времени в различных цепях регулируется поворотом дисков 4 с упорами 5 относительно кулачков 7. Для этого надо отпустить гайку, которая жестко крепит диски 4 на оси 3, и повернуть диск до нужного значения выдержки и затянуть гайку. Риски на дисках указывают выдержку времени в секундах или в минутах.

**Командоаппараты.** В качестве командоаппаратов используют программное реле времени типа 2РВМ, командные приборы КЭП-12У, МКП, КЭ4А-12.

Программное реле 2РВМ (рис. 121) состоит из анкерного часового механизма с автоматическим под заводом от электродвигателя СД, программного диска со штифтами и

При поступлении напряжения на реле (рис. 120) включают двигатель Д и электромагнит ЭМ, который рычагом 1 сцепляет зубчатые колеса  $z_2$  и  $z_3$ . Вращение от двигателя через колеса  $z_1$  и  $z_2$  передается на колесо  $z_3$ , жестко укрепленное на оси 3. Вместе с осью по часовой стрелке медленно вращаются диски 4 с упорами 5 (на схеме показан один диск; их может быть до шести), при этом возвратная пружина 2 закручивается. Упор подходит к кулачку 7, поворачивает его, переключая контакты 6, а сам продолжает двигаться дальше. После переключения всех контактов двигатель останавливается, а контакты реле не переключаются, так как электромагнит еще не отключен.

Таким образом, реле работает с удержанием. После снятия напряжения электромагнит отключается и под действием возвратной пружины 2 контакты возвращаются в исходное положение. Выдержка времени в различных цепях регулируется поворотом дисков 4 с упорами 5 относительно кулачков 7. Для этого надо отпустить гайку, которая жестко крепит диски 4 на оси 3, и повернуть диск до нужного значения выдержки и затянуть гайку. Риски на дисках указывают выдержку времени в секундах или в минутах.

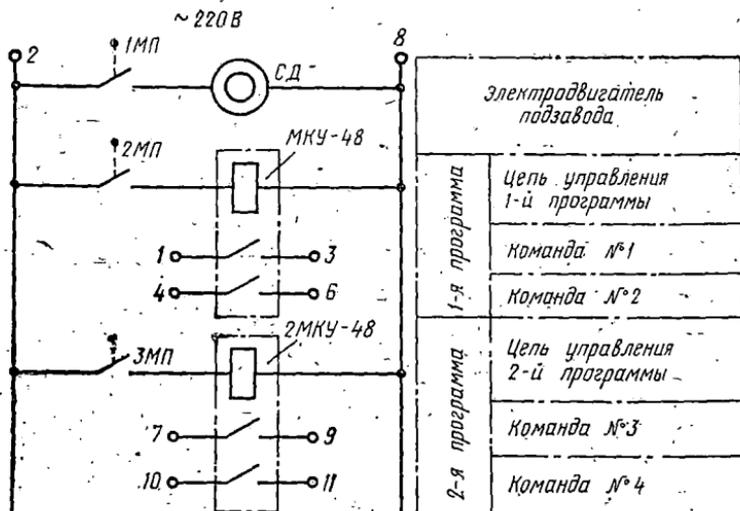


Рис. 121. Электрическая схема программного реле 2РВМ.

микрореле. Реле имеет две независимые программы. Программы устанавливаются на диске, в котором имеется два ряда отверстий с резьбой, расположенных на двух concentрических окружностях. В отверстия диска ввинчивают штифты. Длинные штифты замыкают контакты микрореле, короткие — размыкают. В каждой программе последовательно с контактами микрореле включена катушка реле МКУ-48 с двумя замыкающими контактами. Цена деления диска первой программы 15 мин, второй 20 мин.

Приборы типа КЭП-12У, МКП, КЭЧА-12 используют для управления несколькими объектами по заданной программе. Пользоваться ими целесообразно, когда много операций с циклами различной продолжительности и различными интервалами между ними.

Прибор МКП (рис. 122) состоит из программного барабана 6, приводимого в движение синхронным двигателем 3 через редуктор 1. Редуктор имеет скользящую шестерню 11, которую можно устанавливать в четырех положениях, меняя тем самым продолжительность цикла от 30 с до 24 ч. Кулачки 7, расположенные на барабане 6, действуют на путевые выключатели 8. На каждый путевой выключатель действуют два кулачка: левые кулачки замыкают, а

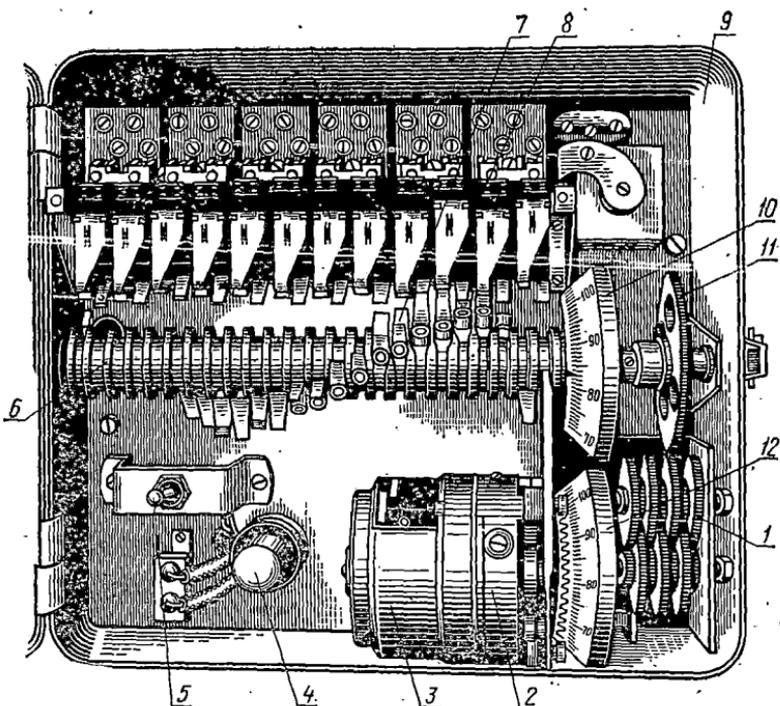


Рис. 122. Многоцепной командный прибор МКП:

1 — внешний редуктор; 2 — встроенный редуктор; 3 — синхронный двигатель; 4 — сигнальная лампа; 5 — тумблер; 6 — программный барабан; 7 — кулачки; 8 — контактные пары; 9 — кожух; 10 — верхний колокол; 11 — скользящая шестерня; 12 — нижний колокол.

правые размыкают контакты переключателей. Налаживают прибор с помощью специальной таблицы, прилагаемой к заводской инструкции.

## § 8. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Сельскохозяйственные производственные помещения (мастерские, коровники, свинарники, птичники) характеризуются влажностью, запыленностью и наличием в них химически активных веществ. Все это приводит к частым отказам в работе релейно-контактной аппаратуры.

Бесконтактные аппараты — логические элементы выполняют на базе полупроводниковых приборов. Они не имеют движущихся частей и контактов, малочувствительны к влиянию внешней среды, малых габаритов и массы, надеж-

ные, быстродействующие и выполняют те же функции, что и релейно-контактные аппараты. Каждый элемент оформлен в виде блока. Транзисторы, диоды и резисторы размещены на платах с печатным монтажом, залиты компаундом на эпоксидной основе и помещены в карболитовый корпус с выводами. Срок службы — 40 тыс. часов.

Для питания логических элементов используют специальные унифицированные блоки питания постоянного тока напряжением до 24 В. Разборке и ремонту элементы не подлежат. Сигнал на вход элементов подают от датчиков. Высокий уровень сигнала не менее 4 В постоянного тока отрицательной полярности получил название логической единицы, не более 1 В — логический ноль.

К выходу элементов подключают электромагнитные реле или через усилительные элементы магнитные пускатели:

Рассмотрим работу логического элемента Т-101 (рис. 123), выполняющего операцию «НЕ». Транзистор — управляемый усилительный прибор. Если база положительна по

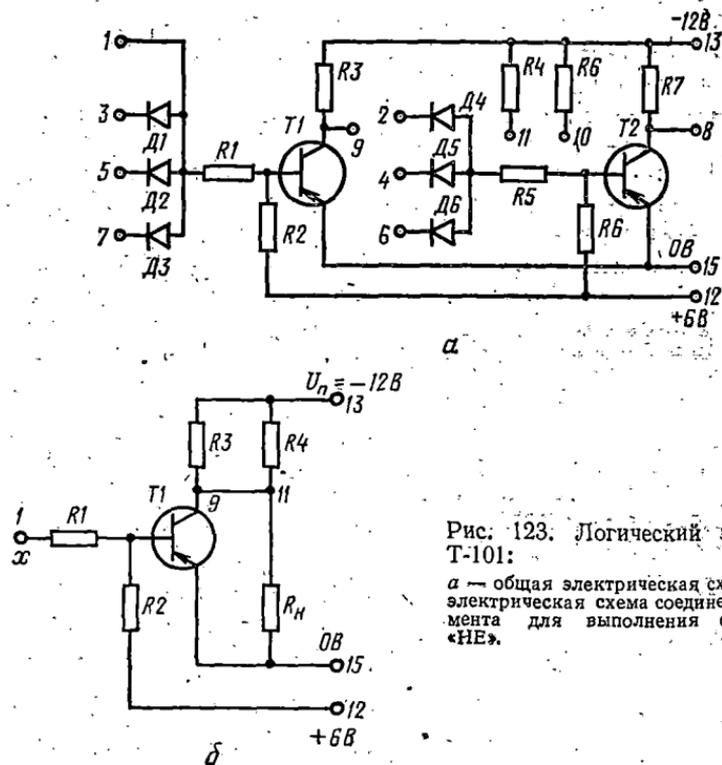


Рис. 123. Логический элемент Т-101:

а — общая электрическая схема; б — электрическая схема соединений элемента для выполнения функции «НЕ».

отношению к эмиттеру, транзистор закрыт, если отрицательна — открыт. При отсутствии сигнала на входе (клеммы 1 и 15) транзистор закрыт положительным потенциалом на базе. На выходе (клеммы 11 и 15) напряжение близко к значению напряжения питания

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{п}} - I_{\text{ко}} R_{\text{к}} \approx -U_{\text{п}}, \quad (189)$$

где  $I_{\text{ко}}$  — ток закрытого транзистора.

При подаче на вход отрицательного потенциала транзистор скачкообразно открывается. Падение напряжения на резисторах  $R3$  и  $R4$  почти равно напряжению питания. На выходе напряжение соответствует логическому нулю. Логической единице на входе соответствует логический ноль на выходе, и наоборот.

### § 9. КОНТАКТОРЫ, МАГНИТНЫЕ ПУСКATEЛИ

Контакты и магнитные пускатели представляют собой электромагнитные аппараты, предназначенные для дистанционного и автоматического управления электродвигателями постоянного и переменного тока, а также другими токоприемниками. Они обеспечивают автоматическое отключение электроустановок (нулевая защита) при исчезновении или снижении напряжения до 50...60% номинального. Контакт переменного тока (рис. 124) состоит из втягивающей катушки 4, магнитопровода 3, траверсы 5, трех линейных контактов с дугогасительными камерами 2 и дополнительных контактов 1.

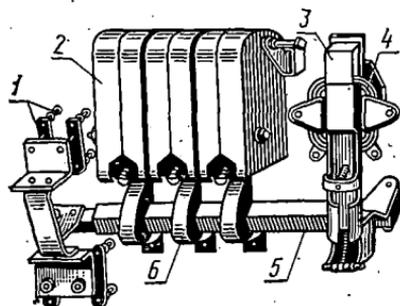


Рис. 124. Контакт переменного тока:

1 — дополнительные контакты; 2 — дугогасительные камеры; 3 — магнитопровод; 4 — катушка; 5 — вал (траверса); 6 — токопровод гибкий.

При подаче напряжения в катушку сердечник намагничивается, притягивает к себе якорь, который, поворачиваясь вместе с траверсой, включает линейные контакты и переключает дополнительные контакты. Через линейные контакты включается электроустановка. Дополнительные контакты служат для включения приборов сигнализации и блокировки кнопки «Пуск».

Контакты применяют для подключения мощных

потребителей (45...315 кВт).

**Магнитные пускатели** представляют конструкции специальной конструкции. Их используют для подключения электроустановок мощностью до 75 кВт. Магнитные пускатели имеют тепловые реле (в контакторах их нет), которые обеспечивают защиту электроустановок от токов перегрузки.

Промышленность выпускает магнитные пускатели серий ПМЕ, ПА, ПАЕ, П6.

Пускатели серии ПМЕ (рис. 125) с прямоходовой

магнитной системой изготавливают нулевой, первой и второй величин. Контакты мостикового типа с разрывом цепи одновременно в двух местах снабжены накладками из серебра.

Пускатели серии ПА, ПАЕ (рис. 126) с поворотной магнитной системой изготавливают третьей, четвертой, пятой и шестой величин. Контакты также мостикового типа с металлокерамическими накладками.

Механическая износостойкость пускателей — не менее 5 млн. срабатываний, частота включений — 1200 в час. Величина пускателя определяет мощность управляемой электроустановки. При напряжении 380 В она составляет для пускателей нулевой величины 1,1 кВт, первой — 4 кВт, второй — 10 кВт, третьей — 17 кВт, четвертой — 30 кВт, пятой — 55 кВт и шестой — 75 кВт.

Обозначение пускателей расшифровывается так:

например, ПА-322 — пускатель серии ПА третьей величины, защищенного исполнения, нереверсивный с тепловым реле.

Различают нереверсивные и реверсивные магнитные пускатели. При помощи

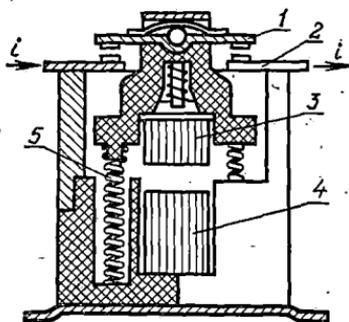


Рис. 125. Схема магнитного пускателя серии ПМЕ:

1 — подвижный контакт мостикового типа; 2 — неподвижный контакт; 3 — якорь; 4 — сердечник; 5 — пружина возврата.

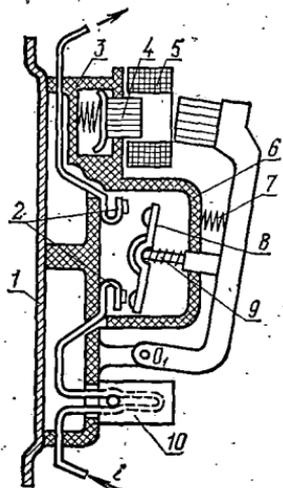


Рис. 126. Схема магнитного пускателя серии ПАЕ:

1 — основание; 2 — неподвижные контакты; 3 и 7 — пружины; 4 — магнитопровод; 5 — катушка; 6 — изоляционная камера; 8 — подвижные контакты; 9 — несущая деталь; 10 — тепловое реле.

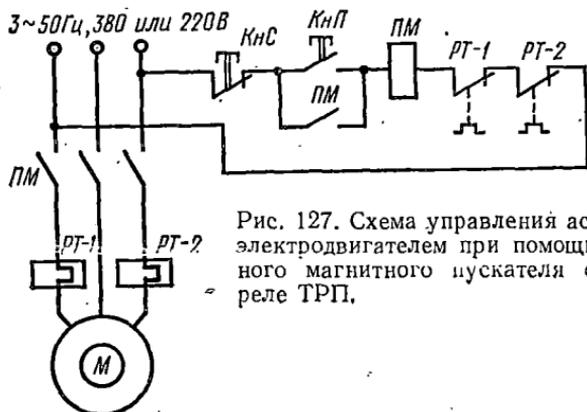


Рис. 127. Схема управления асинхронным электродвигателем при помощи реверсивного магнитного пускателя с тепловыми реле ТРП.

реверсивных пускателей можно не только включать и отключать электродвигатель, но и, кроме того, изменять направление его вращения.

Для управления нереверсивным магнитным пускателем используют кнопки управления с двумя кнопочными элементами: «Пуск» (замыкающий) и «Стоп» (размыкающий), а для управления реверсивным — с тремя кнопочными элементами: «Вперед» (два контакта: замыкающий и размыкающий), «Назад» (два контакта: замыкающий и размыкающий) и «Стоп» (только размыкающий).

На рисунке 127 показана схема управления работой электродвигателя при помощи нереверсивного пускателя. После включения рубильника нажимают кнопку *КНП* и катушка *ПМ* пускателя получает питание. Сердечник намагничивается, притягивает к себе якорь; главные контакты *ПМ* замыкаются и включают электродвигатель. Одновременно замыкается дополнительный контакт *ПМ*, шунтирующий кнопку «Пуск» (*КНП*). Чтобы остановить электродвигатель, нажимают кнопку «Стоп» (*КНС*). Цепь катушки *ПМ* разрывается, якорь под действием возвратных пружин отходит от сердечника, размыкаются главные контакты (лишая электродвигатель питания) и дополнительный контакт.

Реверсивный пускатель объединяет два нереверсивных пускателя и снабжен электрической, а иногда и механической блокировкой, предотвращающими одновременное включение обоих пускателей, то есть короткое замыкание в питающей сети. Для надежной взаимной блокировки рекомендуется использовать размыкающие контакты пу-

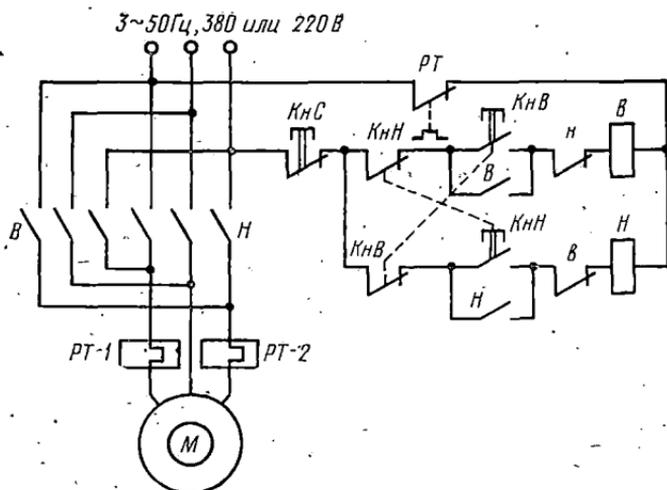


Рис. 128. Схема управления асинхронным электродвигателем при помощи реверсивного магнитного пускателя с тепловым реле ТРН.

сковых кнопок и размыкающие дополнительные контакты магнитного пускателя, как это показано на рисунке 128. При нажатии кнопки «Вперед» (КНВ) сначала размыкается контакт этой кнопки в цепи «Назад» (КНН), затем замыкается контакт в цепи «Вперед», включается пускатель «Вперед» и дополнительно размыкается дополнительный контакт пускателя «Вперед» в цепи «Назад».

Механическая блокировка содержит два рычага, укрепленные на подвижных частях аппаратов — так, что при срабатывании первого пускателя его рычаг препятствует перемещению подвижной части второго (и наоборот).

## § 10. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

**Предохранители** применяют для защиты электроустановок и сетей от токов короткого замыкания и чрезмерных перегрузок.

Отключающим элементом предохранителя является плавкая вставка (из меди, цинка, свинца), включаемая в цепь тока. Защитное действие предохранителя заключается в том, что при коротком замыкании или чрезмерной перегрузке, когда токи значительно превосходят номинальные, плавкая вставка перегорает, разрывая цепь тока.

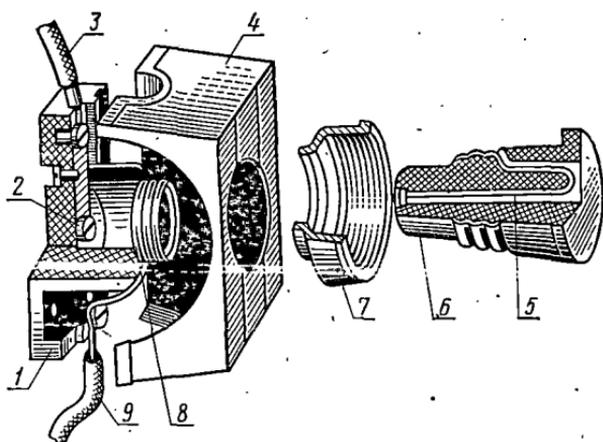


Рис. 129. Предохранитель типа Н:

1 — корпус; 2 — внутренний контакт; 3 — провод от сети; 4 — крышка; 5 — плавкая вставка; 6 — пробка с плавкой вставкой; 7 — крепежное кольцо; 8 — резьбовой контакт; 9 — провод к нагрузке.

По конструкции различают пробочные и трубчатые предохранители.

Пробочные предохранители типа Н (рис. 129) — закрытые, без наполнителя. Плавкая вставка 5 из медной проволоки заключена в неразборную пробку 6, которая ввертывается в резьбовой контакт 8. Применяют их для защиты осветительных проводок и электродвигателей небольшой мощности напряжением до 380 В в помещениях с нормальной средой. Номинальный ток плавких вставок от 2,5 до 60 А.

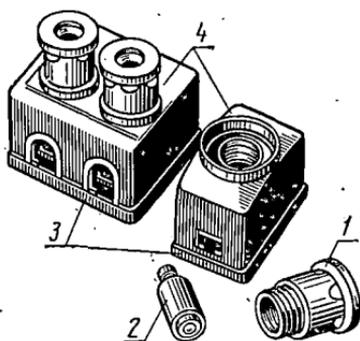


Рис. 130. Двухполюсный и однополюсный предохранители типа ПРС:

1 — головка; 2 — фарфоровый цилиндр; 3 — основание; 4 — крышка.

У предохранителей серии ПРС (рис. 130) плавкая вставка помещена в фарфоровый цилиндр 2, который заполнен кварцевым песком и закрыт по концам контактными колпачками. Между колпачками расположен плавкий мостик. Номинальный ток плавких вставок этих предохранителей от 1 до 100 А.

Трубчатые предохранители типов ПР-2, ПН-2

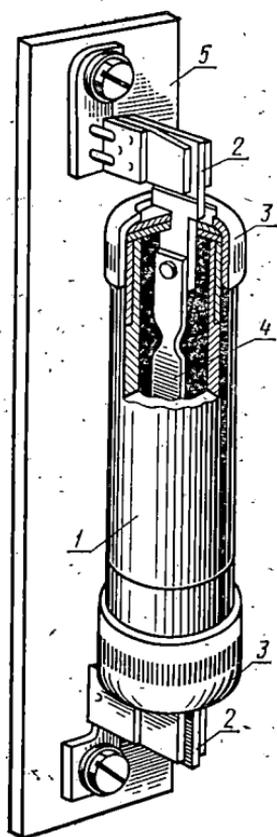


Рис. 131. Предохранитель типа ПР-2:

1 — патрон; 2 — контактный нож; 3 — латунный колпак; 4 — плавкая вставка; 5 — основание.

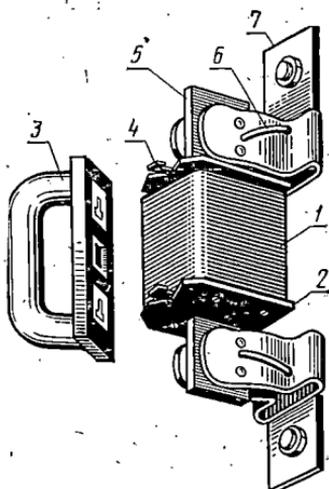


Рис. 132. Предохранитель типа ПН-2:

1 — патрон; 2 — крышка; 3 — рукоятка; 4 — Т-образные выступы для рукоятки; 5 — контактный нож; 6 — пружины; 7 — присоединительный зажим.

(разборные) и НПН (неразборные) применяют в сетях напряжением до 380 и 500 В.

У предохранителей ПР-2 (рис. 131) патрон 1 выполнен из фибры в виде трубки, внутрь которой вставлена штампованная из листового цинка плавкая вставка 4 на ток от 6 до 600 А. При сгорании плавкой вставки ее заменяют стандартной.

Патрон 1 предохранителя ПН-2 (рис. 132) изготовлен из фарфора и заполнен кварцевым песком. Допускается многократная смена перегоревших плавких вставок от 30 до 600 А.

Патрон предохранителя НПН изготовлен из стекла, закрыт медными контактными колпачками и заполнен кварцевым песком. Плавкая вставка — медная лента или проволока с напаянным оловянным шариком — припаяна к контактными колпачкам. Номинальный ток плавких вставок от 6 до 60 А. Перезарядке эти предохранители не подлежат.

## § 11. ТЕПЛОВЫЕ РЕЛЕ

Тепловые реле применяют для защиты электроустановок от токов перегрузки.

В общем виде реле состоит из нагревателя (спираль из нихромовой проволоки или лента), включаемого последовательно в цепь, биметаллической пластины (инвар — латунь или инвар — никель) и контактов, включаемых в цепь управления. При перегрузке через нагреватель проходит увеличенный ток. От тепла, выделяемого в нагревателе, биметаллическая пластина изгибается и, воздействуя через систему рычагов, размыкает контакты. В исходное положение контакты возвращаются в результате нажатия кнопки «Возврат» или автоматически при помощи механизма самовозврата после остывания биметаллической пластины.

Двухполюсные тепловые токовые реле серии ТРН с температурной компенсацией (на номинальные токи от 0,32 до 40 А) устанавливаются по одному в магнитных пускателях серий ПМЕ, ПА-300 и ПБ. Реле объединяет два тепловых элемента (нагреватель и биметаллическая пластина), действующих на одну контактную систему. При перегрузке электродвигателя биметаллическая пластина б

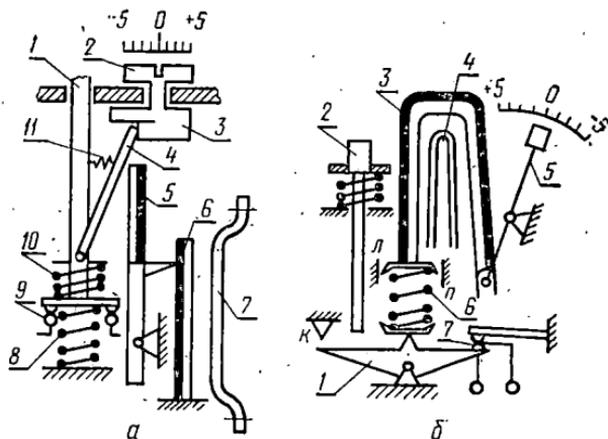


Рис. 133. Схема устройства тепловых реле:

*a* — серии ТРН; 1 — траверса; 2 — регулятор тока уставки; 3 — упор; 4 — защелка; 5 — компенсатор; 6 — биметаллическая пластина; 7 — нагреватель; 8 — пружина; 9 — контакты; 10 — пружина; 11 — пружина; *б* — серии ТРП; 1 — колодка; 2 — кнопка возврата; 3 — биметаллическая пластина; 4 — нагреватель; 5 — рычаг; 6 — пружина; 7 — контакты.

(рис. 133, а) под действием тепла, выделяемого нагревателем 7, изгибается, через компенсатор 5 сжимает пружину 11 и снимает защелку 4 с упора 3. Траверса 1 выталкивается пружиной 8 и контакты 9 размыкаются. В исходное положение реле возвращают вручную нажатием на траверсу.

Однополюсные тепловые токовые реле серии ТРП с номинальным током от 1 до 150 А устанавливают по два в магнитные пускатели ПА-400, ПА-500, ПА-600. Реле серии ТРП (рис. 133, б) имеет комбинированный нагрев, то есть ток защищаемого электродвигателя пропускается через нагреватель 4 и биметаллическую пластину 3, соединенные между собой параллельно. Для каждой серии реле изготавливают сменные нагреватели. Кроме того, ток уставки можно регулировать.

Шкала регулятора разбита на десять делений: пять в сторону плюс и пять в сторону минус. Цена одного деления 5% от тока нагревательного элемента. Ток уставки можно изменять в пределах  $\pm 25\%$ . Выбирают реле и сменные нагреватели по номинальному току электродвигателя. Разборка и ремонт реле в условиях эксплуатации не допускаются.

Более совершенной защитой двигателей от перегрева обмоток являются устройства типа УВТЗ-1 и УВТЗ-4Б, выполненные на полупроводниковых приборах.

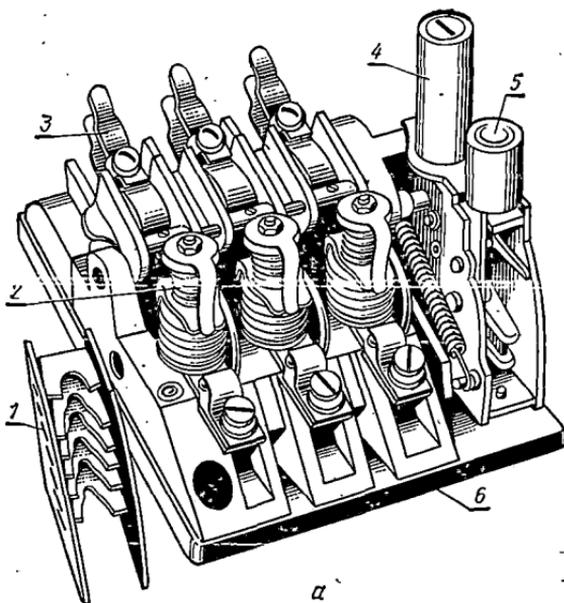
## § 12. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Автоматические выключатели (автоматы) серий АП50, АК63, АЗ100, АЕ2000 предназначены для ручного включения и отключения электроустановок и автоматического отключения их в случае перегрузки или короткого замыкания.

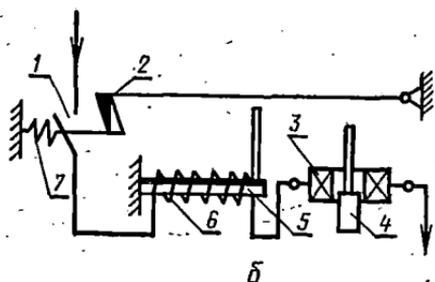
Автомат АП50 (рис. 134, а) состоит из основания 6, крышки главных контактов 3, дугогасительных камер 1, механизма расцепления электромагнитного 2 и теплового расцепителей, кнопок 4 и 5 «Пуск» и «Стоп».

Тепловые расцепители защищают электроустановки от тока перегрузки, а электромагнитные — от тока короткого замыкания, размыкая главные контакты через механизм расцепления. Уставки тепловых расцепителей регулируемые, электромагнитных — нерегулируемые.

Марка автомата расшифровывается так. Например, АП50-ЗМТ означает: АП — тип автомата, 50 — максималь-



*a*



*б*

Рис. 134. Автоматический трехполюсный выключатель (автомат) типа АП50 (со снятой крышкой):

*a* — общий вид; 1 — дугогасительная камера; 2 — электромагнитный расцепитель; 3 — главные контакты; 4 и 5 — кнопки для ручного включения и отключения автомата; 6 — пластмассовое основание; 6 — устройство комбинированного расцепителя: 1 — контакт; 2 — защелка; 3 — обмотка; 4 — якорь; 5 — биметаллическая пластина; 6 — нагреватель; 7 — пружина.

ная сила тока автомата, 3 — число расцепителей, М — магнитный расцепитель, Т — тепловой расцепитель. Вместо одного из электромагнитных расцепителей может быть установлен расцепитель максимального тока в нулевом проводе (О) — АП50—2МТЗТО или расцепитель минимального напряжения (Н) — АП50-2МЗТН.

Устройство комбинированных расцепителей приведено на рисунке 134, б.

При коротком замыкании в любой из трех фаз большой ток проходит по обмотке 3. Якорь 4 резко втягивается в обмотку и, воздействуя на защелку 2, размыкает ее. Под действием пружины контакт 1 размыкает силовую цепь

(одновременно все три фазы), то есть сработал электромагнитный расцепитель.

При токовой перегрузке тепло нагревателя 6 выгибает биметаллическую пластину 5 и ее толкатель размыкает защелку 2, а следовательно, и контакт 1 (происходит также одновременное размыкание трех фаз).

Автоматические выключатели серии АЕ-2000 — более совершенные аппараты. Они рассчитаны для установки в электрических цепях переменного тока напряжением до 500 В, частотой 50...60 Гц и до 220 В постоянного тока.

## **Лабораторная работа 11**

**Устройство и испытание магнитного пускателя**

**Цель работы.** Изучить устройство и принцип работы магнитного пускателя.

**Приборы и оборудование.** 1) Магнитные пускатели серии ПМЕ, ПА, ПБ. 2) Регулятор напряжения РНШ. 3) Авометр. 4) Сигнальная лампа.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Разобрать магнитный пускатель, изучить устройство и собрать его.

2. Изучить технические данные магнитного пускателя и записать в отчет.

3. Собрать электрическую схему испытания магнитного пускателя. Катушку пускателя подключить к РНШ. Последовательно с катушкой включить авометр в режиме миллиамперметра. Включить сигнальную лампу через дополнительные замыкающие контакты пускателя в сеть.

4. При помощи РНШ подать номинальное напряжение на катушку пускателя. Проследить за срабатыванием пускателя (лампа загорается). Записать номинальную силу тока катушки.

5. Поворотом рукоятки РНШ увеличивать напряжение до момента срабатывания пускателя (лампа загорается). Записать напряжение и силу тока срабатывания.

6. Рукояткой РНШ уменьшить напряжение до момента отпадания пускателя (лампа гаснет). Записать напряжение и силу тока отпадания.

7. Определить коэффициент возврата  $K_B$  и номинальную мощность  $S_N$  по формулам:

$$K_B = \frac{U_{отп}}{U_{сраб}} = \frac{I_{отп}}{I_{сраб}}; S_N = U_N I_N.$$

8. Составить отчет о работе.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Что входит в понятие АСУ и АСР?
2. В чем сущность управления по отклонению?
3. Объясните, что такое датчики и каково их назначение?
4. Расскажите об устройстве путевых и конечных выключателей.
5. Объясните устройство и принцип действия электромагнитного реле постоянного и переменного тока.

6. Объясните устройство и принцип действия магнитного пускателя.
7. Расшифруйте обозначения: ПМЕ-134; ПА-411.
8. Как осуществляется защита электродвигателей от токов короткого замыкания и перегрузки?
9. Объясните действие электромагнитного и теплового расцепителей автоматов.

## Глава XII. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ И ОБЛУЧАЮЩИЕ УСТАНОВКИ, ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ

### § 1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

**Излучение** — один из видов выделения телом накопленной энергии, которая представляет собой электромагнитные волны, распространяющиеся в пустоте со скоростью света, равной  $3 \cdot 10^8$  м/с.

В сельскохозяйственном производстве широко используется оптическое излучение с длинами волн в диапазоне 420 000...180 нм (1 н а н о м е т р =  $10^{-9}$  м).

В этом диапазоне различают три вида излучений: невидимые: инфракрасные (ИК) 420 000...780 нм и ультрафиолетовые (УФ) — 400...180 нм; и видимые (ВИ) — 780...400 нм.

И н ф р а к р а с н ы е и з л у ч е н и я используют для сушки продуктов, уничтожения болезнетворных микробов и сельскохозяйственных вредителей (дезинсекция), а чаще всего для местного обогрева животных и птицы.

Энергия ИК-излучения, проникая в кожу и подкожные ткани животного, превращается в тепловую, что благотворно сказывается на кровообращении, функции желез и общем обмене веществ.

У л ь т р а ф и о л е т о в ы е и з л у ч е н и я оказывают наиболее сильное многостороннее биологическое действие на организм животных и птицы.

Весь спектр УФ-излучений по длине волн условно делят на три области: А — 380...320 нм, В — 320...280 нм, С — короче 280 нм. Биологическая ценность излучения области А мала, ее применяют для люминесцентного анализа качества продукции и возбуждения светящихся составов в сигнальных и других устройствах.

Излучения области В вызывают покраснение кожи — эритему, обладают антираhitным действием, способным превращать провитамин в активно действующий витамин D.

Излучения области С характеризуются бактерицидным действием. Их используют для обеззараживания воздуха в помещениях, воды, посуды и т. д.

Видимые излучения обеспечивают условия видения, протекание фотосинтеза (образование растениями органических веществ из минеральных), которым, в основном, определяется урожай растений. Под действием света усиливается обмен веществ, стимулируются функции эндокринных желез и окислительные процессы, повышаются устойчивость организма к болезням, воспроизводительная способность маточного поголовья, продуктивность животных, рост и сохранность молодняка.

В Международной системе единиц (СИ) установлены основная величина оптического излучения — сила света и производные — световой поток, освещенность.

**Световой поток** — интенсивность видимого излучения. За единицу светового потока принят люмен (лм), равный световому потоку, излучаемому абсолютно черным телом с площади  $0,5305 \text{ мм}^2$  при температуре затвердевания платины (2042К).

**Сила света** — это плотность светового потока, распределенного в определенном пространстве (внутри телесного угла).

Единица силы света — кандела (кд) — световой поток в 1 люмен, равномерно распределенный внутри телесного угла в 1 стерадиан.

Определяется сила света  $I$  (кд) отношением светового потока  $F$  (лм) к телесному углу  $\omega$  (ср)

$$I = \frac{F}{\omega}. \quad (190)$$

**Освещенность** — это плотность светового потока, проходящего на единицу освещаемой им поверхности. Единица измерения освещенности — люкс (лк). Освещенность  $E$  (лк) определяется отношением светового потока  $F$  (лм) к площади освещаемой поверхности  $S$  ( $\text{м}^2$ )

$$E = \frac{F}{S}. \quad (191)$$

Освещенность измеряют люксметрами Ю=16 и Ю=17.

Спектр полезного действия УФ-излучения на сельскохозяйственных животных и птиц в областях А и В ориентировочно совпадает с кривой эритемного действия. За единицу эритемного потока принята мощность излучения

в 1 Вт с длиной волны 297 нм (эр). В практике пользуются единицей, в 1000 раз меньшей, — миллиэр (мэр).

Единицей эритемной облученности является эр/м<sup>2</sup> (мэр/м<sup>2</sup>) — плотность эритемного потока на 1 м<sup>2</sup>.

Для измерения УФ-облученности служит переносной прибор УФМ-71. Его шкала градуирована в мэр/м<sup>2</sup>.

Единицей бактерицидного потока является бакт (б), представляющий собой поток излучения с длиной волны 254 нм мощностью 1 Вт.

Бактерицидная облученность измеряется в б/м<sup>2</sup> или мб/м<sup>2</sup>.

Для оценки поля излучения ИК-источников существует два метода. Первый заключается в измерении облученности под ИК-источником, второй — в определении дополнительной температуры, которую приобретает при ИК<sup>2</sup>-облучении облучаемый объект за счет лучистой теплопередачи.

Приборы для измерения ИК-облученности в условиях сельскохозяйственного производства еще только разрабатывают. В практике используют пиранометры.

Шкалы пиранометров градуированы в кал (см<sup>2</sup>·мин), 1 кал/(см<sup>2</sup>·мин) = 700 Вт/м<sup>2</sup>.

## § 2. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Источниками видимых излучений являются лампы накаливания, люминесцентные ртутные лампы низкого давления и ртутные дуговые лампы высокого давления.

Лампы накаливания — самые простые по конструкции и удобные в эксплуатации источники света. Лампа накаливания представляет собой колбу, выполненную из прозрачного, матированного или молочного стекла. Внутри колбы размещена нить накала из вольфрама в виде моноспирали или биспирали (двойной спирали). Колба соединена с цоколем специальной мастикой. На цоколе имеется винтовая нарезка для крепления в патроне. Воздух из колбы откачан, и для уменьшения распыления вольфрама колба заполнена инертным газом: техническим аргоном, азотно-аргонной или криптоно-ксеноновой смесью.

Принцип действия ламп накаливания основан на температурном излучении. Излучение получается за счет нагрева вольфрамовой нити до температуры 2400...3000 К.

Основные характеристики ламп: номинальное напряжение, электрическая мощность, световой поток, световая отдача и средняя продолжительность горения.

**Световой поток** лампы накаливания находится в прямой зависимости от электрической мощности лампы и температуры нити накала.

**Световая отдача**  $H$  (лм/Вт) характеризует экономичность лампы накаливания и равна отношению светового потока к ее мощности

$$H_{\text{св}} = \frac{F}{P}; \quad (192)$$

**Средняя продолжительность горения** лампы 2500 ч. при номинальном напряжении. При изменении напряжения на  $\pm 1\%$  световой поток лампы изменяется на  $\pm 2,7\%$ , продолжительность горения — на  $\pm 13\%$ .

Лампы накаливания общего назначения выпускают на напряжение 127, 220 и 220...235 В мощностью от 15 до 1500 Вт.

Буквы в марках ламп означают:

Н — накаливания, В — вакуумная, Г — газополная, Б — биспиральная, К — с криптоновым наполнителем. За буквами цифра указывает номинальное напряжение лампы, а цифра после тире — мощность.

Например, НВ 220-75 — накаливания, биспиральная, номинальное напряжение 220 В, мощность 75 Вт.

Для освещения высоких производственных помещений, например ремонтных мастерских, используют лампы накаливания НЗК, ЗН, НЗС с зеркальным отражающим слоем, который нанесен изнутри на верхнюю часть колбы.

Люминесцентные лампы низкого давления (0,01 мм рт. ст.) общего назначения представляют собой стеклянную колбу в виде цилиндрической трубки 4 (рис. 135) из обычного стекла, не пропускающего УФ-излучения. Внутренняя поверхность колбы покрыта тонким слоем люминофора 6. Люминофор — это твердое кристаллическое вещество, испускающее видимое излучение под воздействием ультрафиолетового излучения.

Воздух из колбы откачан, а вместо него введен технический аргон с каплей ртути. В торцы колбы впаяны электроды 5, изготовленные из вольфрамовой проволоки, свитые в спираль и покрытые специальным составом. Каждый электрод

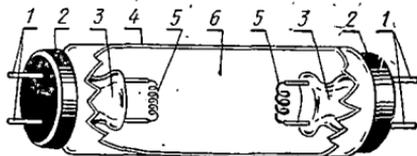


Рис. 135. Люминесцентная лампа:

1 — контактные штырьки; 2 — цоколь; 3 — стеклянная ножка; 4 — стеклянная колба; 5 — вольфрамовые электроды; 6 — люминофор.

трод имеет два вывода, которые заканчиваются штырьками 1.

Принцип работы люминесцентных ламп основан на использовании электролюминесценции и фотолюминесценции.

Электролюминесценция — свечение паров ртути при движении в них электронов под действием приложенного напряжения. Фотолюминесценция — свечение люминофора в результате воздействия на него ультрафиолетовых лучей, излучаемых разрядом в парах ртути.

В зависимости от состава люминофора, получают видимые излучения различного спектрального состава.

Промышленность выпускает следующие люминесцентные лампы: ЛД — дневного света; ЛДЦ — дневного света с улучшенной цветовой передачей; ЛХБ — холодно-белого света; ЛБ — белого света; ЛТБ — тепло-белого света.

Люминесцентные лампы каждого типа выпускают мощностью 15 и 20 Вт напряжением 127 В; 30, 65, 80 и 125 Вт напряжением 220 В. Средний срок службы 10 000 ч.

Основные преимущества люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания: более благоприятный спектральный состав, высокая световая отдача, большой срок службы, температура нагрева колбы до 50°C. Их недостатки: сложная схема включения, влияние окружающей среды на работу лампы (оптимальная температура 15... 40°C), пульсация светового потока, меньшая надежность в работе и низкий cosφ.

На продолжительность горения люминесцентных ламп влияют колебания напряжения в сети, частота включения и температурные условия, в которых эксплуатируется лампа. При пониженном напряжении лампа не загорается, а при повышенном уменьшается продолжительность горения. При температуре 0...10°C зажигание лампы затруднено.

Особенность люминесцентных ламп та, что источником излучения является участок междуэлектродного промежутка, заполненный аргоном и парами ртути и до включения в сеть представляющий диэлектрик. Когда к лампе приложено электрическое поле большой напряженности, происходит пробой диэлектрика, который скачкообразно превращается в проводник. При этом лампа не имеет определенного сопротивления. По мере прохождения тока через лампу ее сопротивление уменьшается, а сила тока

увеличивается, что приводит к выходу из строя лампы. Поэтому все газоразрядные лампы включают в сеть через пускорегулирующий аппарат (ПРА). ПРА по принципу действия подразделяют на стартерные и бесстартерные.

Стартерные ПРА имеют балластное сопротивление (дроссель) и стартер с конденсатором, бесстартерные — только дроссель (в сельском хозяйстве почти не применяются).

Дроссель — балластное индуктивное сопротивление, ограничивает силу тока лампы при пуске и в рабочем режиме, а также создает импульс повышенного напряжения (700...1000 В) за счет э. д. с. самоиндукции при разрыве цепи стартера, благодаря которому загорается лампа.

Стартер представляет собой неоновую лампочку с двумя электродами, из которых один или оба биметаллические. При пуске стартер на короткое время замыкает цепь электродов лампы для их подогрева (800°C) и размыкает эту цепь для создания импульса повышенного напряжения за счет дросселя.

Конденсатор стартера служит для устранения радиопомех при включении лампы, увеличении амплитуды импульсного напряжения, стабилизации тлеющего разряда в стартере и рабочего разряда при горении лампы. Тип ПРА выбирают в зависимости от напряжения сети, числа и мощности ламп.

Данные ПРА указаны на дросселе. Например, 1УБИ-40/220 означает: аппарат стартерный, индуктивный для вклю-

Таблица 6. Расшифровка пускорегулирующей аппаратуры

Буква или цифра	Что означает
Первая цифра	Число ламп, включаемых через аппарат
УБ	Стартерное зажигание
АБ	Бесстартерное зажигание
И	Индуктивный
Е	Емкостный
К	Компенсированный, с улучшенным cos φ
Цифры дробью	Числитель — мощность лампы, знаменатель — напряжение сети
А	Антигробоскопический
В	Встроенный в светильник
Н	Независимой установки
П	С пониженным уровнем шума и радиопомех

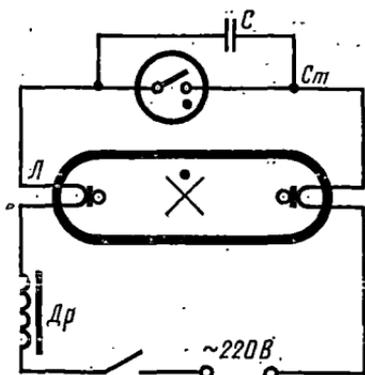


Рис. 136. Схема включения люминесцентной лампы.

чения одной лампы мощностью 40 Вт в сеть 220 В. Кроме того, указывают силу тока и  $\cos\phi$ . Расшифровка пускорегулирующей аппаратуры дана в таблице 6.

Стартеры должны соответствовать напряжению сети и мощности лампы. Например, 15—20/СК-127 — для лампы мощностью 15 и 20 Вт и напряжения сети 127 В; 30-80/СК-220 — для ламп мощностью 30, 40, 65, 80 Вт и напряжения сети 220 В.

Простейшая схема включения люминесцентной лампы в сеть переменного тока показана на рисунке 136.

В момент включения на электроды стартера и лампы подается полное напряжение сети. Для зажигания лампы этого напряжения недостаточно. В стартере между электродами возникает тлеющий разряд, разогревающий электроды, и они замыкаются. По цепи дроссель — электроды лампы и стартера протекает ток, разогревающий электроды лампы. В этот момент разряда в стартере нет, электроды его охлаждаются и размыкаются.

Мгновенный разрыв цепи вызывает в дросселе импульс повышенного напряжения, который подается на подогретые электроды лампы. Возникает электрический разряд в аргоне и парах ртути — невидимые, ультрафиолетовые излучения, которые, попадая на люминофор, вызывают его свечение, то есть лампа зажглась. Когда лампа зажглась, напряжение на ней и стартере понижается до половины напряжения сети за счет сопротивления дросселя. Лампа продолжает работать, а стартер автоматически отключается. Если при первом срабатывании стартера лампа не зажглась, то цикл повторяется автоматически. Длительность пуска не более 10...15 с.

Для дополнительного облучения рассады овощей используют лампы типа ЛФ-40 со специальным составом люминофора. Лампа ЛФ-40-1 (люминесцентная с высокой фотосинтетической активностью мощностью 40 Вт) имеет однокомпонентное люминофорное покрытие и максимум излучения в красной области. Ее применяют для облучения рассады огурцов.

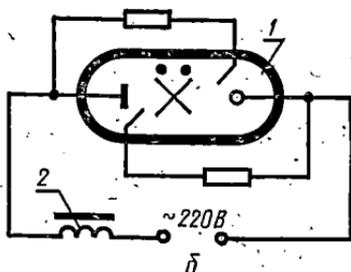
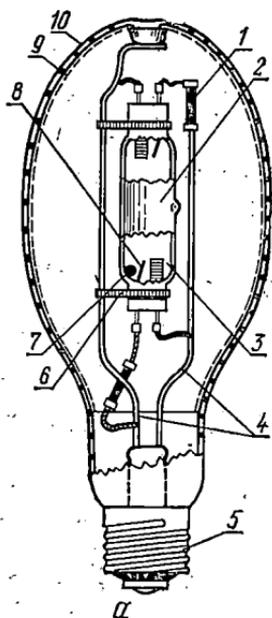


Рис. 137. Лампа ДРЛ:

*a* — общее устройство: 1 — ограничительное сопротивление (10—30 кОм); 2 — разрядная трубка из прозрачного кварцевого стекла (горелка); 3 — активированный электрод из вольфрамовой проволоки; 4 — токопроводы; 5 — цоколь; 6 — поддерживающий хомут; 7 — капля ртути; 8 — зажигающий электрод; 9 — слой порошкообразного люминофора; 10 — внешняя стеклянная колба; *б* — электрическая схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ (1) с дросселем (2).

ЛФ-40-2 имеет двухкомпонентное люминофорное покрытие и максимум излучения в красной и синей областях, применяя ее для облучения рассады помидоров. Лампы ЛФ-40 используют с одинаковой арматурой и пускорегулирующей аппаратурой, как и лампы ЛД-40, ЛБ-40. Лампа высокого давления ДРЛ (дуговая, ртутная, люминесцентная) представляет собой толстенную кварцевую трубку 2 (рис. 137), заполненную парами ртути и аргоном. Трубка помещена в колбу 10 из термостойкого стекла. Изнутри колба покрыта люминофором, который преобразует невидимую часть УФ-излучения в видимую, и заполнена аргоном с добавкой азота. Лампы ДРЛ выпускают двух- и четырехэлектродные. Они отличаются от ламп ЛД, ЛБ большей единичной мощностью и яркостью, меньшими габаритами. Окружающая среда практически не влияет на их работу. Лампы ДРЛ имеют резьбовой цоколь, и их включают в сеть при помощи ПРА только для данных ламп. Используют такие лампы для освещения площадей и облучения растений.

При включении четырехэлектродной лампы возникает тлеющий разряд между вспомогательными и основными электродами. Затем он перебрасывается на основные и лампа зажигается. Процесс разогревания лампы длится около

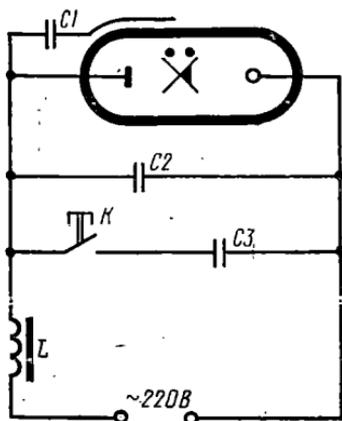


Рис. 138. Электрическая схема включения лампы ДРТ.

Лампу ЛОР-1000 включают в сеть так же, как и лампу ДРТ.

Источниками УФ-излучения являются лампы типа ДРТ, ЛЭ, БУВ, ДБ.

Ртутно-кварцевая лампа типа ДРТ (Д — дуговая, Р — ртутная, Т — трубчатая) представляет собой трубку из кварцевого стекла, по концам которой впаяны вольфрамовые электроды. Трубка заполнена аргоном и дозированным количеством ртути. Кварцевое стекло трубки применяют из-за высокой его стойкости к тепловым и механическим нагрузкам и хорошо пропускающим УФ-излучения всех трех областей (А, В и С).

Схема включения лампы ДРТ показана на рисунке 138. Зажигают лампу замыканием и размыканием кнопки К. При помощи конденсатора СЗ и дросселя создается импульс высокого напряжения, который подается на электроды лампы. Происходит пробой разрядного промежутка, и лампа разгорается в течение 10...15 мин. Повторное включение возможно только после ее охлаждения.

Эритемные лампы ЛЭ конструктивно не отличаются от люминесцентных ламп; их включают в сеть при помощи ПРА. Трубка лампы выполнена из увиолевого стекла, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, излучающим УФ-лучи в области В.

Эритемные рефлекторные лампы типа ЛЭР имеют в верхней части трубки рефлекторный слой.

Бактерицидные лампы типа БУВ, ДБ имеют трубку из

7 мин. Повторное зажигание возможно только после ее остывания. Срок службы лампы — 10...15 000 ч.

Лампа типа ЛОР-1000 (люминесцентная ртутная высокого давления мощностью 1000 Вт) даёт спектр излучения с преобладанием оранжево-красных и сине-фиолетовых лучей благодаря подбору специального состава люминофора. По конструкции и электрическим параметрам аналогична лампе ДРТ, однако колба изготовлена из стекла, выдерживающего при нагретом состоянии брызги холодной воды.

увиолевого стекла, пропускающего УФ-лучи области С. Люминофор отсутствует.

Источниками ИК-излучения являются «светлые» и «темные» излучатели.

«Светлые» излучатели представляют собой лампы накаливания, работающие при пониженной температуре нити накала.

Лампы типа ИКЗ-220-500 (инфракрасные зеркальные напряжением 220 В мощностью 500 Вт) имеют колбу, заполненную инертным газом для продления срока службы спирали. Внутренняя часть колбы, прилегающая к цоколю, покрыта зеркальным слоем из алюминия или серебра. У лампы типа ИКЗК-220-250 нижняя часть колбы дополнительно покрыта красным термостойким лаком для снижения интенсивности видимого излучения.

Лампы типа КИ-220-1000 представляют собой цилиндр из кварца, в котором строго по оси расположена нить. Колба заполнена инертным газом — аргоном, ксеноном или криптоном с добавлением дозированного количества йода. Добавка йода уменьшает испарение вольфрама, тем самым увеличивается продолжительность горения.

«Темные» ИК-излучатели (ТЭНы) представляют собой металлическую трубку, внутри которой расположена нихромовая спираль, служащая нагревателем и уложенная в огнестойкую изоляционную массу.

### § 3. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ И ОБЛУЧАЮЩИЕ УСТАНОВКИ

Источники оптического излучения используют с арматурой, которая служит для перераспределения потока излучения в требуемом направлении, предохранения глаз от слепящего действия источника, защиты источника излучений от загрязнения, воздействия среды и механических повреждений.

Комплект из арматуры и лампы называется светильником. К основным светотехническим характеристикам светильников относят коэффициент полезного действия и защитный угол.

К. п. д. светильника — отношение светового потока светильника к световому потоку лампы. Защитный угол (рис. 139) характеризует степень за-

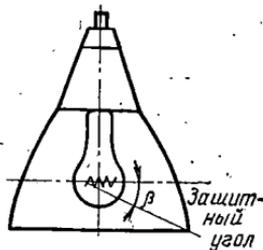


Рис. 139. Защитный угол светильника.

щиты глаз от слепящего действия источника света. Он равен  $12...40^\circ$  с лампами накаливания,  $15...30^\circ$  — с люминесцентными лампами.

Светильники различают по назначению, исполнению, способу установки, мощности и числу ламп, характеру светораспределения.

По назначению различают светильники для освещения закрытых помещений, открытых пространств и т. д. По исполнению светильники делятся на открытые, в которых лампа не отделена от окружающей среды; защищенные — патрон и лампа отделены от окружающей среды; влагозащищенные, пыленепроницаемые с уплотнениями, взрывозащищенные.

По способу установки подразделяют на подвесные, потолочные (плафоны), настенные (бра), напольные (торшеры) и др.

В сельском хозяйстве для освещения общественных помещений с нормальной средой используют светильники «Люцетта», «Шар» и др. с лампами накаливания, ЛД и ЛДР- $2 \times 40$  (Л — люминесцентный, Д — диффузный, Р — с решетным затенителем, первая цифра — число ламп, две вторые — мощность одной лампы в Вт) с люминесцентными лампами.

В сырых, особо сырых помещениях, особо сырых с химически активной средой используют светильники подвесные пыленепроницаемые типа ПНР- $1 \times 100$ , потолочные сельскохозяйственные — ПСХ-60, потолочные непроницаемые — ППП- $2 \times 100$ , подвесные сельскохозяйственного общего освещения — НСПО- $1 \times 60$  с лампами накаливания; пылевлагозащищенные модернизированные — ПВЛМ- $2 \times 40$ , пылевлагозащищенные с пластмассовым корпусом ПВЛП- $2 \times 40$  с люминесцентными лампами.

Во взрывоопасных помещениях устанавливают герметические светильники типов НОБ, НОГ, ВЗГ.

Улицы освещают светильниками СПО-200 с лампами накаливания, СПП-200 — с лампами накаливания и ДРЛ; СКЗЛ- $3 \times 40$  м — консольные зеркальные с люминесцентными лампами, СКЗРП-500 с лампами ДРЛ.

Для освещения больших открытых пространств и производственных территорий применяют прожекторы заливающего света типа ПЗС, ПСМ с лампами накаливания мощностью от 200 до 1000 Вт.

Комплект, состоящий из источника УФ- или ИК-излучений и арматуры, называется облучателем.

Ультрафиолетовое облучение животных и птицы в значительной степени компенсирует ультрафиолетовую (D-витаминную) недостаточность, особенно в осенне-зимний период. Для этой цели используют различные облучатели и установки:

Переносной облучатель с ртутно-кварцевой лампой типа ДРТ-375 служит для облучения инкубационных яиц и цыплят в первые дни после вывода. Эритемный облучатель типа ЭО-1-30М с лампой ЛЭ-30 используют для облучения животных и птицы при напольном содержании.

Светильник-облучатель ОЭСПО2-2×40/П5×-01 предназначен для общего освещения животноводческих и птицеводческих помещений с одновременным ультрафиолетовым облучением животных и птицы. Он имеет люминесцентную лампу ЛБР-40 и эритемную лампу ЛЭР-40. Обе лампы могут включаться раздельно.

Механизированная подвесная установка типа УО-4М предназначена для ультрафиолетового облучения поросят и телят, а также для облучения коров и быков при привязном содержании, кур и цыплят при содержании их на полу. Установка имеет приводную станцию, четыре облучателя с лампами типа ДРТ-375, устройство для подвески и перемещения облучателей, кабели и щит управления.

Самоходную установку УОК-1 с двумя лампами типа ДРТ-375 используют для ультрафиолетового облучения цыплят и кур при клеточном содержании.

Бактерицидное ультрафиолетовое излучение применяют для обеззараживания воды, воздуха, продуктов питания, посуды. Для этой цели выпускают облучатели типов ОБУ-1-15 и ОБУ-1-30 с лампами ДБ соответственно на 15 и 30 Вт.

Для создания необходимого температурного и влажностного режима содержания молодняка используют источники инфракрасного излучения. Под действием ИК-излучений повышается температура в помещениях для животных и птицы, нагревается кожа животных, высушивается влажная шерсть, повышается устойчивость организма против простудных заболеваний. В практике используют облучатели типа ИКО-4, ССПО1-250-001-УЗ с зеркальной лампой накаливания ИКЗК-220-250. Для местного инфракрасного обогрева поросят-сосунов, новорожденных телят и ягнят и ультрафиолетового облучения в течение всего периода обогрева применяют автоматизированную установку ИКУФ-1. Установка состоит из 40 облучателей, четырех силовых щитов и одного программного блока управления.

Облучатель представляет собой жесткую коробчатую конструкцию, в которой установлены две лампы ИКЗК-220-250 и одна лампа ЛЭ-15. Мощность облучателя 540 Вт. «Темные» инфракрасные облучатели типа ОКБ представляют защитную арматуру и ТЭНы.

Применение дополнительного искусственного облучения рассады позволяет повысить урожай и снизить себестоимость овощей. Для этой цели промышленность выпускает облучатели типа ОТ-6-40 (облучатель тепличный на 6 ламп по 40 Вт) с лампами ЛФ-40 с повышенной фотосинтетической активностью. Облучатели навешивают над стеллажами рассады на тросе или проволоке с таким расчетом, чтобы можно было регулировать высоту подвеса.

Облучатели типа ОТ-400 с лампами ДРФ-400 более компактные и экономичные, монтируют так же, как и ОТ-6-40.

#### **§ 4. ПРАВИЛА И НОРМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ. ВИДЫ И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ**

Правилами предусматривается, что спроектированная и выполненная осветительная или облучающая установка должна обеспечивать соответствующие условия освещения или облучения при минимальных затратах денежных средств и электроэнергии.

Нормы освещенности устанавливаются на основании законодательного документа СНиП (Строительные нормы и Правила, электрическая часть). На основании СНиП разрабатывают ведомственные нормы. В сельском хозяйстве действуют нормы, приведенные в НТПСХ (Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных объектов). Нормы освещенности периодически пересматривают в сторону их увеличения. Исследования показали, что увеличение нормы освещенности против существующей в животноводческих помещениях способствует повышению продуктивности животных.

Нормированная освещенность на рабочих местах достигается соответствующим видом и системой освещения.

**Виды освещения:** рабочее и аварийное.

Рабочее освещение обеспечивает нормальную видимость на рабочих местах, аварийное — продолжение работы или эвакуацию людей при выходе из строя рабочего освещения.

**Системы освещения:** общее, местное и комбинированное.

Общее освещение обеспечивает освещенность на всей площади помещения. Местное освещение применяют для лучшего освещения рабочих мест. Оно может быть стационарным или переносным. Комбинированное освещение — сочетание общего и местного освещения. Применяют в помещениях, требующих высокого уровня освещенности и когда устройство только местного освещения запрещено.

Расчет освещения заключается в выборе мощности источника, арматуры, числа светильников, рациональном их размещении и определении высоты подвеса.

В практике пользуются следующими методами расчета освещения: точечным, коэффициента использования светового потока и удельной мощности.

Точечный метод применяют для расчета общего равномерного освещения в помещениях, в которых отраженный от стен и потолка световой поток не имеет большого значения.

В помещениях со светлыми потолками и стенами освещение рассчитывают методом коэффициента использования светового потока.

Метод удельной мощности — приближительный, но простой и достаточно точный. Его применяют при расчетах общего равномерного освещения и ориентировочных расчетах для учета осветительной нагрузки при выборе мощности трансформаторной подстанции.

Расчет освещения методом удельной мощности с лампами накаливания ведут в такой последовательности:

1. Зная тип и размеры помещения, определяют его площадь по наружному обмеру, выбирают по таблицам значение удельной мощности  $p_{уд}$  (Вт/м<sup>2</sup>), мощность источника  $P_x$  (Вт) и тип светильника.

2. Определяют установленную мощность  $P_{уст}$  (Вт) осветительной нагрузки

$$P_{уст} = p_{уд} S, \quad (193)$$

где  $p_{уд}$  — нормированная удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $S$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>.

3. Определяют число ламп  $n$

$$n = \frac{P_{уст}}{P_x}, \quad (194)$$

где  $P_x$  — мощность источника света, Вт.

Полученное дробное число ламп округляют до целого числа.

Таблица 7. Нормы освещенности для сельскохозяйственных помещений

Помещение	Освещенность, лк, при лампах	
	газоразрядных	накаливания
<b>Растениеводство</b>		
Участок изготовления питательных кубиков и горшочков	75	30
Проходы и соединительные коридоры теплиц	75	30
Участок проращивания семян	75	30
Камера хранения картофеля	50	20
Участок проращивания картофеля	100	50
Камеры хранения фруктохранилища	50	20
Участок сортировки и обработки фруктов	100	100
Отделения:		
вторичной очистки зерна в предприятиях по его обработке	75	30
сушки зерна	50	20
сортировки зерна	100	50
протравливания и термического обеззараживания зерна	75	30
Диспетчерская	100	50
Мастерская	150	100
Гаражи	100	50

Таблица 8. Нормы освещенности для полевых сельскохозяйственных работ

Вид работы и освещаемый объект	Минимальная освещенность, лк	
	в вертикальной плоскости	в горизонтальной плоскости
Поверхность земли на всю ширину зоны захвата машины впереди трактора на расстоянии 10...15 м	0,2	—
Пахота, боронование, сплошная культивация	—	2
Сев:		
след маркера на расстоянии 2 м впереди колеса	—	2
высевающие аппараты	15—20	—
Обработка пропашных культур	5	2
Уборка урожая	—	2—5
Механизмы управления, транспортеры и части, опасные в отношении травматизма	5	2

Таблица 9. Коэффициент, используемый при переводе Вт/м<sup>2</sup> в лк

Мощность лампы, Вт	Переводной коэффициент при напряжении, В	
	127.	220
До 100	2,4	2,0
100 и более	3,2	2,5

Таблица 10. Нормы освещения сельскохозяйственных помещений

Наименование помещений	Установленная мощность на 1 м <sup>2</sup> площади помещения по наружному обмеру, Вт	Средняя мощность светоточек, Вт
Гараж	11	100
Пожарное депо	8	100
Мастерская:		
слесарно-механическая	12	150
деревообделочная	12	150
Мельница	14	150
Овощехранилище	2	100
Зернохранилище	2	100
Весовая	12	150
Склад:		
минеральных удобрений	2	100
оборудования и материалов	3	100

4. Выбирают наиболее выгодное расположение светильников.

Все сведения по расчету освещения методом удельной мощности приведены в таблицах 7, 8, 9 и 10.

Нормы освещенности даны в люксах. Их нетрудно переписать в Вт/м<sup>2</sup>

$$E = K_n p_{уд} \quad \text{или} \quad p_{уд} = \frac{E}{K_n},$$

где  $E$  — освещенность, лк;

$p_{уд}$  — удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_n$  — переводной коэффициент, значения которого в практических условиях указаны в таблице 9.

## § 5. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ И ОБЛУЧАЮЩИМИ УСТАНОВКАМИ

Автоматическое управление освещением в птичниках осуществляется программным реле управления светом (ПРУС-1). С помощью этого прибора можно постепенно изменять продолжительность светового дня по заданному графику, а также имитировать «утро» и «вечер» путем последовательного включения и отключения отдельных групп светильников. Все светильники разбиты на две группы, каждая из которых равномерно распределена по птичнику.

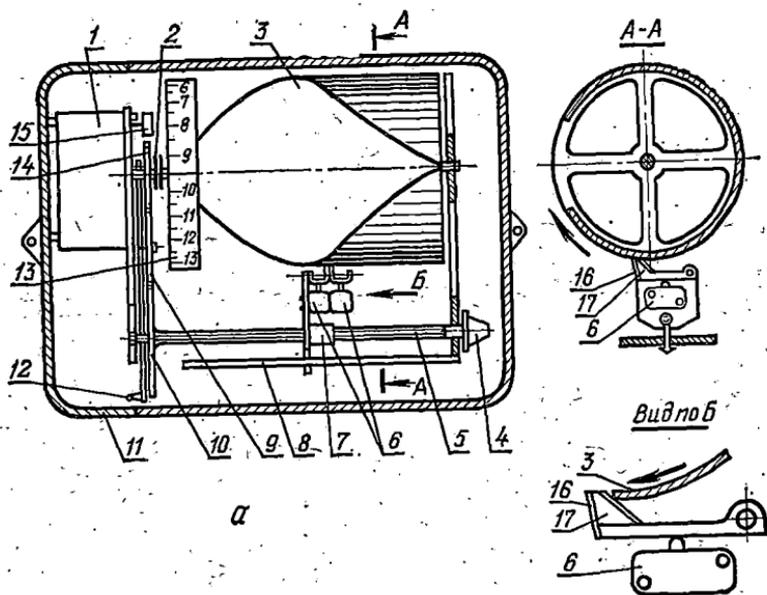
Прибор ПРУС-1 состоит из блока управления и блока пускателей. Оба блока соединены гибким кабелем с разъемом.

Блок управления (рис. 140, а) состоит из маятникового часового механизма 1 типа 2РВМ, имеющего автоматический подзавод пружины и суточный запас хода, программного цилиндра 3, связанного с часовым механизмом через зубчатую передачу, состоящую из шестеренок 9, 10 и 14, микропереключателей 6, рычажков 16 и 17 с регулировочными винтами, винта 5 с ручкой 4, шкалы продолжительности светового дня 8, корпуса 11 и крышки.

Блок пускателей состоит из двух магнитных пускателей серии ПА-311, трех однополюсных автоматических выключателей А-63 и переключателя рода работы (автоматическая и ручная). Выходной вал часового механизма 1 делает один оборот в сутки. С ним вращается программный цилиндр 3 и винт 5 через шестеренки 9, 10 и 14. Вместе с винтом совершают поступательное движение микропереключатели 6. За полный цикл содержания птицы (400 дней для кур-несушек или 150 дней для цыплят) они перемещаются из одного крайнего положения в другое.

При вращении цилиндр нажимает вырезом профиля по очереди на рычажки 16 и 17, а через них на микропереключатели 6, которые, в свою очередь, включают магнитные пускатели, а следовательно, и обе группы ламп. Когда рычажки соскальзывают с программного цилиндра, обе группы ламп поочередно выключаются. Профиль рычажков 16 и 17 выбран таким образом, чтобы они включались и выключались через определенный интервал времени (2...5 мин), определяющий период «утра» и «вечера».

При ручном управлении переключатель В ставят в положение «Ручн.», включают и выключают свет автоматами А-63. Облучатели установки УО-4М с помощью ведущего



а

Вид по Б

б

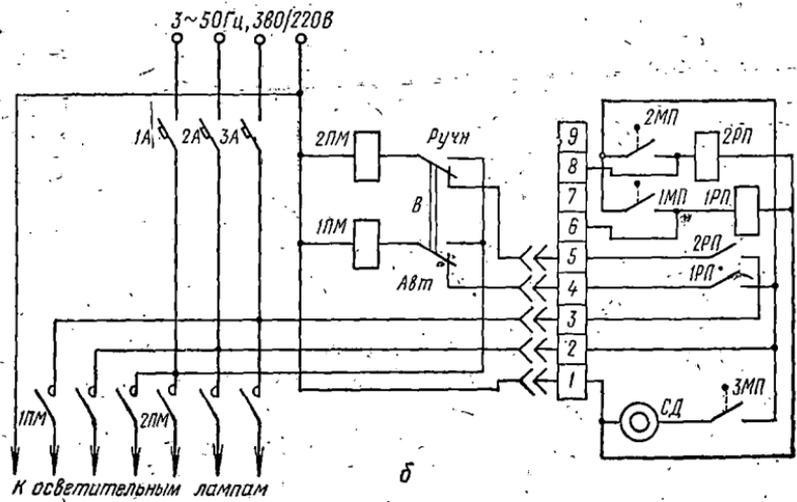


Рис. 140. Программное реле управления светом (ПРУС-1):  
 а — устройство; б — схема электрическая; 1 — часовой механизм типа 2РВМ; 2 — фрикционная муфта; 3 — программный цилиндр; 4 — ручка; 5 — винт; 6 — микропереключатели; 7 — гайка; 8 — шкала продолжительности светового дня; 9, 10 и 14 — шестерни; 11 — корпус; 12 — рычаг; 13 — часовая шкала; 15 — минутная шкала; 16 и 17 — рычажки.

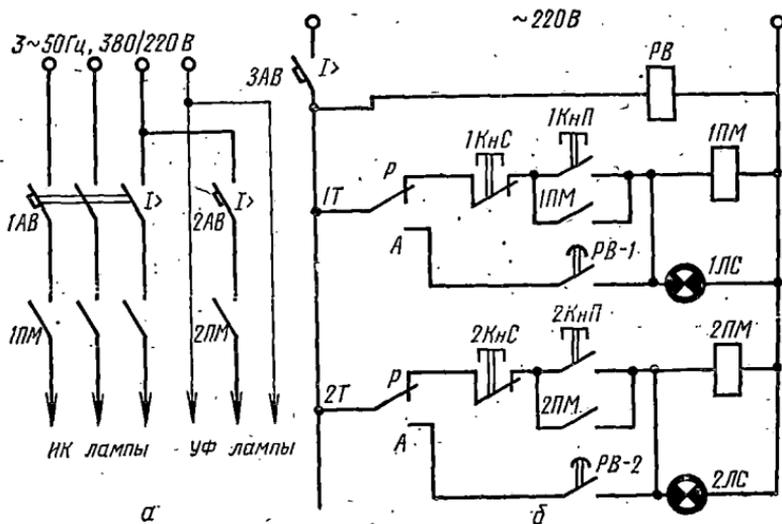


Рис. 141. Электрическая схема управления установкой ИКУФ-1:  
*а* — силовая цепь; *б* — цепь управления.

троса, переключателя, редуктора и электродвигателя совершают возвратно-поступательное перемещение по стальным проволокам над станками животных со скоростью 0,3 м/мин.

Установка ИКУФ-1 работает в автоматическом и ручном режимах (рис. 141). При автоматическом режиме тумблеры 1Т и 2Т устанавливаются в положение А. При помощи реле времени типа 2РВМ настраивают продолжительность работы и длительность паузы инфракрасных и ультрафиолетовых ламп. При подаче напряжения в схему автоматом 3АВ через замыкающие контакты реле времени РВ-1 и РВ-2 срабатывают магнитные пускатели 1ПМ и 2ПМ и включают инфракрасные и ультрафиолетовые лампы.

Согласно программе контакты реле времени РВ-1 и РВ-2 открываются, наступает пауза облучения.

При ручном управлении тумблеры 1Т и 2Т устанавливаются в положение Р. Лампы включают и отключают кнопками 1КНП и 2КНП. Защита оборудования и электрической сети от коротких замыканий осуществляется автоматическими выключателями 1АВ и 2АВ.

## § 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ И ОБЛУЧАЮЩИХ УСТАНОВОК. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Освещенность является одним из важнейших параметров микроклимата, обеспечивающих нормальный рост растений и развитие животных. Одновременное повышение освещенности и продление светового дня до 18 ч способствует увеличению молочной продуктивности коров на 5,3...15,9% и снижению расхода кормов на единицу продукции на 14,7...38,4%.

При правильном режиме освещения яйценоскость кур повышается на 20...25%, уток — на 20%.

Дополнительное искусственное облучение рассады ускоряет выход овощей на 15...20 дней, повышает урожай на 25...30% и снижает себестоимость овощей на 15...20%.

Многочисленные исследования и практика показывают, что облучение увеличивает привесы поросят, телят и цыплят на 10...15% при условии полноценного кормления.

Облучение инкубационных яиц снижает эмбриональную смертность и увеличивает выводимость при инкубации на 10...15%.

Облучение семян инфракрасным и видимым излучением при ранних сроках посева позволяет повысить урожай на 9%.

При эксплуатации осветительных и облучающих установок следует руководствоваться «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Особо внимательно следует обращаться с люминесцентными лампами. Следить, чтобы они не разбивались в животноводческих помещениях, так как ртуть может попасть в корм и вызвать отравление животных. Разбитые лампы следует складывать в специальные ямы и засыпать их.

Во избежание воспаления слизистой или роговой оболочки глаз при работе с лампами ДРТ необходимо пользоваться защитными очками из темного стекла. Не рекомендуется смотреть с близкого расстояния на включенные эритемные лампы. Такие установки можно обслуживать без защитных очков. ИК-излучение оказывает отрицательное действие на глаза в результате теплового эффекта. На включенные ИК-источники не рекомендуется смотреть с близкого расстояния.

Глаза животных не защищаются, так как УФ- и ИК-излучения при облучении эффективными дозами вредного действия не вызывают.

## **Лабораторная работа 12**

### **Исследование работы люминесцентной лампы**

**Цель работы.** Ознакомиться с устройством люминесцентной лампы, пускорегулирующим аппаратом. Освоить приемы сборки схемы включения люминесцентной лампы и определения неисправностей.

**Приборы и оборудование.** 1). Люминесцентная лампа. 2). Стартер. 3). Дроссель. 4). Пусковой аппарат ЛУБИ. 5). Амперметр на 1А. 6). Вольтметр на 250 В. 7). Ваттметр. 8). Блок конденсаторов. 9). Регулятор напряжения РНШ.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с устройством люминесцентной лампы, дросселя, стартера и их техническими данными.

2. Подобрать к люминесцентной лампе ПРА.

3. Собрать электрическую схему включения люминесцентной лампы.

4. Вынуть стартер из гнезда и подавать номинальное напряжение на люминесцентную лампу. Измерить напряжения на дросселе, лампе и стартере. Объясните, почему лампа не зажигается?

5. Закоротить контакты стартера в гнезде и проследить процесс нагрева электродов лампы, записать показание амперметра.

6. Снять перемычку из гнезда стартера, установить стартер и проследить процесс зажигания лампы. Записать время зажигания, напряжения на дросселе и лампе, силу тока, активную мощность. Определить  $\cos \phi$ .

7. При помощи регулятора напряжения изменять подаваемое напряжение на лампу от номинального до потухания лампы и обратно. Записать напряжение, при котором лампа гаснет и зажигается.

8. Для улучшения  $\cos \phi$  подключить параллельно конденсаторную батарею и добиться минимальной силы тока в цепи.

Определить  $\cos \phi$  и емкость конденсатора.

9. Составить отчет о работе.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое оптическое излучение?

2. Какие области оптического излучения необходимы для жизни животных и растений?

3. Назовите источники оптического излучения.

4. Как устроены лампа накаливания и люминесцентная лампа?

5. В чем преимущества люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания?

6. Почему для включения люминесцентных ламп применяют ПРА?

7. Какие Вы знаете облучатели и облучающие установки и где их используют?

8. Каковы меры безопасности труда при эксплуатации ультрафиолетовых и инфракрасных облучателей?

# Глава XIII. ЭЛЕКТРОПРИВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

## § 1. ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Электроприводом называют систему, состоящую из электродвигателя, передаточного механизма, аппаратуры управления и защиты и предназначенную для сообщения и передачи энергии (движения) рабочей машине.

По числу электродвигателей, занятых в одном производственном агрегате, различают трансмиссионные, одиночные и многодвигательные электроприводы.

Трансмиссионный привод подразделяют на *общетрансмиссионный*, когда движение от электродвигателя передается на главные трансмиссии, расположенные в цехах предприятия, и *групповой*, при котором электродвигатель приводит в движение через трансмиссию группу машин. По ряду причин трансмиссионный привод сейчас почти не применяют.

В *одиночном приводе* рабочая машина приводится в движение одним электродвигателем. Одиночный привод может быть простым и индивидуальным, последний, в свою очередь, подразделяют на простой индивидуальный и особый индивидуальный.

При *одиночном простом приводе* движение от электродвигателя к машине поступает через передаточные механизмы (ременная передача, редуктор, муфта). В *простом индивидуальном приводе* еще сохраняются элементы передаточных механизмов (гибкий вал стригальной машинки), а в *особом индивидуальном приводе* они отсутствуют. Отдельные части электродвигателя иногда объединены с исполнительным механизмом и даже исполняют функции рабочих органов (например, электрорубанок).

*Многодвигательный электропривод* встречается в сложных установках, когда отдельные рабочие органы приводятся в движение собственными электродвигателями (так, в агрегате АВМ-0,4 для приготовления витаминной муки девять электродвигателей, а в зерносушилке СЗСБ-8,0 их десять).

Применяют различные способы соединения электродвигателей с рабочей машиной.

*Непосредственное* соединение с использованием различных муфт возможно при условии равенства частот вращения валов электродвигателя и рабочей машины.

Когда же частоты вращения валов электродвигателя и машины не совпадают, применяют *косвенное* соединение при помощи передач различных типов: ременных, цепных, зубчатых.

Ременные передачи, получившие широкое распространение, просты по устройству, обеспечивают плавность хода, бесшумность работы, удобны в обслуживании.

Цепные передачи применяют главным образом для понижения частоты вращения ведомого вала. Они позволяют передавать большой крутящий момент и работают без проскальзывания.

Зубчатые передачи (редукторы с цилиндрическими, коническими и червячными колесами) — наиболее совершенный передаточный механизм.

Для зубчатых передач характерны большие передаточные числа, значительная передаваемая мощность, долговечность работы.

## § 2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Номинальным режимом работы электрической машины называют такой, для которого предназначается машина и который указан на ее щитке. ГОСТ 183—66 предусматривает восемь номинальных режимов работы электрических машин.

Промышленность поставляет электродвигатели для трех основных режимов работы — продолжительного (длительного), кратковременного и повторно-кратковременного. Режимы работы обозначают на щитках электродвигателей соответственно S1, S2 и S3.

В продолжительном режиме электродвигатель работает с постоянной или переменной нагрузкой в течение времени, достаточного для того, чтобы его температура достигла установившегося значения.

Повторно-кратковременный режим предполагает чередование рабочего периода  $t_p$  и паузы  $t_o$ . Время одного цикла  $t_{\text{ц}} = t_p + t_o$  не превышает 10 мин. За рабочий период температура электродвигателя не достигает установившегося значения, а за период паузы не успевает снизиться до температуры окружающей среды. Этот режим характеризуется продолжительностью включения:

$$\text{ПВ} \% = \frac{t_p}{t_p + t_o} 100\%. \quad (195)$$

Значение ПВ% указывают в паспорте электродвигателя (ПВ% = 15, 25, 40 и 60%).

При кратковременном режиме температура электродвигателя не достигает установившегося значения, а после его отключения успевает снизиться до температуры окружающей среды. В паспорте таких электродвигателей указаны мощность и время, в течение которого они ее развивают ( $t_p = 10, 30, 60$  и  $90$  мин).

### § 3. НАГРЕВ И ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Нагрев электродвигателя происходит из-за потерь энергии в обмотках и потерь на вихревые токи в сердечнике статора и ротора.

Характер нагрева электродвигателя в зависимости от нагрузки графически изображен на рисунке 142. С момента пуска температура электродвигателя увеличивается. Затем, когда температура достигает установившегося значения, ее рост прекращается. Это значит, что все выделенное тепло отдается в окружающую среду. При номинальной нагрузке  $P_{ном}$  электродвигателя и стандартной температуре  $\tau_{н.с.} = 40^\circ\text{C}$  окружающей среды (ГОСТ 183—66) установившаяся допустимая температура

$$\tau_{уст. доп} = \tau_{пр} + \tau_{н.с.} \quad (196)$$

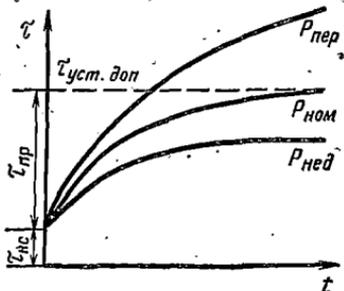
где  $\tau_{пр}$  — предельное превышение температуры частей электродвигателя над стандартной (для изоляции класса А  $\tau_{пр} = 65^\circ\text{C}$ , класса Е —  $\tau_{пр} = 80^\circ\text{C}$ , класса В —  $\tau_{пр} = 90^\circ\text{C}$ );

$\tau_{н.с.}$  — стандартное значение температуры.

Если действительная температура окружающей среды  $\tau_{окр}$  отлична от стандартной  $\tau_{н.с.}$ , то мощность  $P_x$  (кВт), до которой можно загрузить электродвигатель, определяют

Рис. 142. Характер нагрева электродвигателя в зависимости от нагрузки:

$P_{пер}$  — перегрузка;  $P_{ном}$  — номинальная нагрузка;  $P_{нед}$  — недогрузка;  $\tau_{н.с.}$  — номинальная стандартная температура окружающей среды;  $\tau_{пр}$  — превышение температуры над  $\tau_{н.с.}$ ;  $\tau_{уст. доп}$  — предельно допустимая температура нагрева электродвигателя.



по формуле

$$P_x = P_{\text{ном}} \sqrt{1 + \frac{\tau_{\text{н.с}} - \tau_{\text{окр}}}{\tau_{\text{пр}}} (\alpha + 1)}, \quad (197)$$

где  $P_{\text{ном}}$  — номинальная (паспортная) мощность электродвигателя, кВт;

$\alpha$  — отношение постоянных потерь к переменным; для асинхронных электродвигателей  $\alpha = 0,5 \dots 0,7$ .

Тепловой режим электродвигателя является основным критерием для определения его мощности. Поэтому при эксплуатации необходимо постоянно заботиться об условиях охлаждения электродвигателя, так как перегрев вызывает старение изоляции обмоток, ухудшает смазку подшипников и в целом сокращает срок его службы.

#### § 4. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Электродвигатели к машинам и механизмам выбирают в зависимости от условий окружающей среды, частоты вращения, рода тока и напряжения, мощности и характера нагрузки.

В сухих помещениях применяют электродвигатели А, А2, 4А; в сырых, влажных пыльных и пожароопасных — АО, АО2, 4А; в особо сырых — АО2...В, 4А...СХ, 4А...ВМ; в особо сырых с химически активной средой — АО2...Х, АО2...СХ, 4А...СХ, во взрывоопасных — КОМ, ВЗГ.

По частоте вращения ротора электродвигатели выбирают с учетом частоты вращения приводного вала машины и данных передаточного механизма.

Напряжение питающей сети, род и частота тока должны соответствовать паспортным данным электродвигателя.

Для машин и механизмов, работающих с продолжительной постоянной или переменной нагрузкой, выбирают электродвигатели единой серии А2, АО2, 4А.

При постоянной нагрузке расчетная мощность  $P_p$  (кВт) электродвигателя

$$P_p = \frac{P_m}{\eta_n}, \quad (198)$$

где  $P_m$  — мощность на валу машины, взятая из паспорта машины или справочника, кВт;

$\eta_n$  — к. п. д. передачи.

Очень часто расчетную мощность электродвигателя определяют по эмпирическим (опытным) формулам. Например, мощность (кВт) двигателя для привода сверлильного станка — по формуле

$$P_p = (0,05 \dots 0,07) d,$$

где  $d$  — наибольший диаметр сверла, мм.

По величине расчетной мощности в каталоге выбирают электродвигатель, исходя из условия

$$P_{н. д. в} \geq P_p \quad (199)$$

При переменной нагрузке мощность электродвигателя выбирают по нагрузочной диаграмме, которая может представлять собой график изменения вращающегося момента, мощности или тока в зависимости от времени работы. По нагрузочной диаграмме определяют эквивалентные силу тока, момент и мощность как среднеквадратичные значения.

Например, эквивалентная мощность  $P_{э. в. в}$  (кВт) — это такая постоянная длительная мощность, которая вызывает такой же нагрев, как и действительная нагрузка:

$$P_{э. в. в} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (200)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_n$  — значения мощностей, взятые из нагрузочной диаграммы;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  — моменты времени, соответствующие действию мощностей  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

Исходя из условия

$$P_{н. д. в} \geq P_{э. в. в}, \quad (201)$$

по каталогу выбирают электродвигатель.

Электродвигатели с повышенным пусковым моментом АОП, АОП2 применяют в приводе машин, отличающихся большой статической и инерционной нагрузкой в период пуска (молотковые дробилки).

В приводе машин с большой частотой пусков, с большими массами, неравномерной ударной или пульсирующей нагрузкой используют электродвигатели АОС, АОС2 (в их паспорте указана величина ПВ%).

Для привода машин, работающих в режиме кратковременной нагрузки, выпускают специальные электродвигатели, в паспорте которых указаны кратковременная мощность и

время, в течение которого двигатель может работать при данной мощности.

Электродвигатели с фазным ротором АОК, АОК2 применяют в случае необходимости регулирования частоты вращения рабочего органа машины, при особо тяжелых условиях пуска и больших мощностях, когда пуск короткозамкнутого электродвигателя вызывает недопустимые колебания напряжения.

Многоскоростные электродвигатели используют для привода механизмов со ступенчатой регулировкой частоты вращения (например, для привода вентиляторов).

Рубильники, пакетные и кулачковые выключатели выбирают по числу полюсов, исполнению, напряжению и силе тока. Отключаемый ток должен быть меньше номинального значения тока рубильника, пакетного или кулачкового выключателя.

Предохранители выбирают по напряжению, номинальному току предохранителя и току плавкой вставки.

Плавкие вставки предохранителей для осветительной нагрузки и электроприемников, работающих с небольшими пусковыми токами, выбирают исходя из условия

$$I_{\text{вст}} \geq I_p, \quad (202)$$

где  $I_{\text{вст}}$  — номинальный ток плавкой вставки, А;  
 $I_p$  — расчетный ток нагрузки, А.

Для осветительной нагрузки с люминесцентными лампами

$$I_{\text{вст}} \geq 1,25I_p. \quad (203)$$

Для электродвигателей с короткозамкнутым ротором номинальный ток плавкой вставки определяют по формуле

$$I_{\text{вст}} = \frac{I_n K_i}{\alpha} = \frac{I_p}{\alpha}, \quad (204)$$

где  $I_n$  — номинальный ток электродвигателя (паспортное значение), А;

$K_i$  — коэффициент кратности пускового тока (указан в справочнике);

$I_p$  — пусковой ток электродвигателя, А;

$\alpha$  — коэффициент, зависящий от условий пуска электродвигателя ( $\alpha=2,5$  — легкий и средний пуск, разбег электродвигателя до 10 с;  $\alpha=1,6 \dots 2,0$  — тяжелый пуск, разбег до 40 с).

Для электродвигателей с фазным ротором номинальный ток плавкой вставки выбирают, исходя из условий

$$I_{вст} \geq (1 \dots 1,25) I_{н.} \quad (205)$$

Автоматические выключатели выбирают по исполнению, числу полюсов и силе тока расцепителей.

Сила тока уставки теплового расцепителя  $I_{тр} \geq I_p$ .

Сила тока уставки электромагнитного расцепителя

$$I_{эм.р} = (1,5 \dots 1,8) I_{пуск}. \quad (206)$$

Магнитные пускатели выбирают по назначению (реверсивные и нереверсивные), мощности и току (величина пускателя), исполнению, напряжению катушки и наличию тепловых реле.

Тепловое реле выбирают по номинальному току электроустановки

$$I_{уст} \geq I_{н. дв.} \quad (207)$$

## § 5. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И УХОД ЗА НИМИ

Производственные машины обычно поставляют в хозяйства в комплекте с установленными на них электродвигателями и аппаратурой управления. Но иногда их приходится подбирать и монтировать на месте. Электродвигатели устанавливают на фундаментах, полах, стенах, потолках, колоннах и на рабочих машинах. Способы установки электродвигателей зависят от его массы, размеров и способа соединения с рабочей машиной.

Фундамент сооружают из красного обожженного кирпича и бетона, принимая массу фундамента, в 5...10 раз большей массы электродвигателя в случае безударной нагрузки, и в 20 раз большей при нагрузке, сопровождающейся толчками. Высота фундамента зависит от качества грунта и глубины его промерзания и составляет от 0,5 до 1,5 м; припуск по ширине и длине в каждую сторону от машины (плиты или салазок) 50...250 мм. Высота фундамента над полом должна быть не менее 150 мм.

Если передача ременная или цепная, электродвигатель обычно устанавливают на салазках, а салазки на фундаменте, полу, стенах и т. д. с тем, чтобы можно было регулировать натяжение ремня или цепи; в случае использования

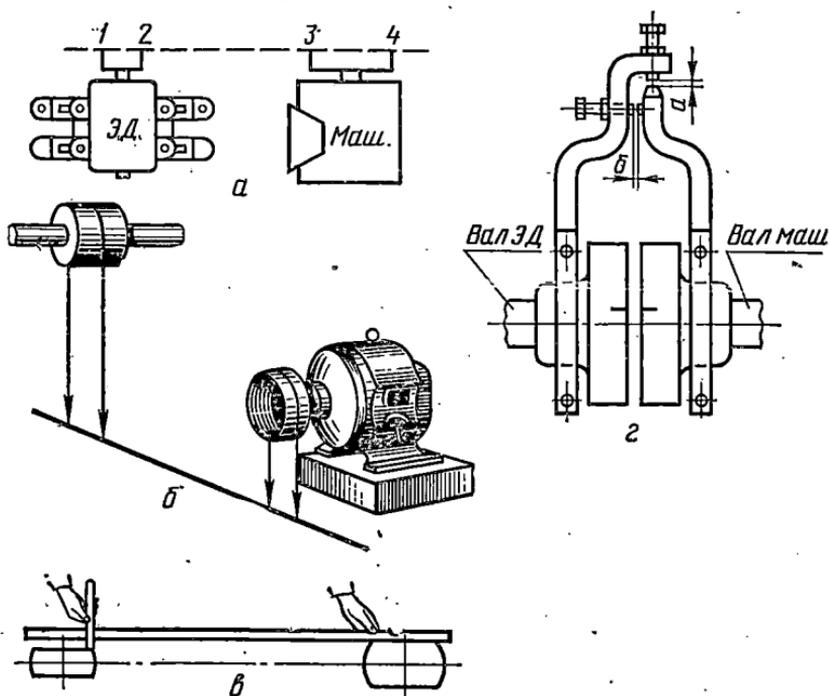


Рис. 143. Выверка правильности взаимного расположения шкивов электродвигателя и рабочей машины:

*а* — при одинаковой ширине ведущего и ведомого шкивов; *б* — при разном уровне расположения шкивов; *в* — при разной ширине шкивов; *г* — выверка валов двигателя при соединении их муфтой при помощи центровочных скоб.

муфт и редукторов его укрепляют на фундаментной плите, раме или установочной площадке без салазок.

При ременной и цепной передачах валы машины и электродвигателя должны быть параллельны, а середины шкивов и звездочек должны находиться в одной плоскости. Это проверяют при помощи шнура, проволоки, планки (рис. 143). В случае непосредственного соединения электродвигателя с машиной их оси валов должны располагаться на одной прямой.

Соосность валов проверяют, пользуясь центровочными скобами. Равенство зазоров между скобами в любом положении валов свидетельствует об их соосности.

Устанавливаемый электродвигатель подвергают внешнему осмотру, очищают от пыли и грязи снаружи, продувают сжатым воздухом (если это позволяет его исполнение), а затем проверяют сопротивление изоляции его обмоток,

которое должно быть не менее 0,5 МОм. Если сопротивление изоляции обмоток меньше, электродвигатель необходимо подвергнуть сушке (в сушильных шкафах, зеркальными лампами накаливания, током короткого замыкания и методом, основанным на использовании потерь в стали ротора), причем температура стали и обмоток во время этой операции не должна превышать 85°C.

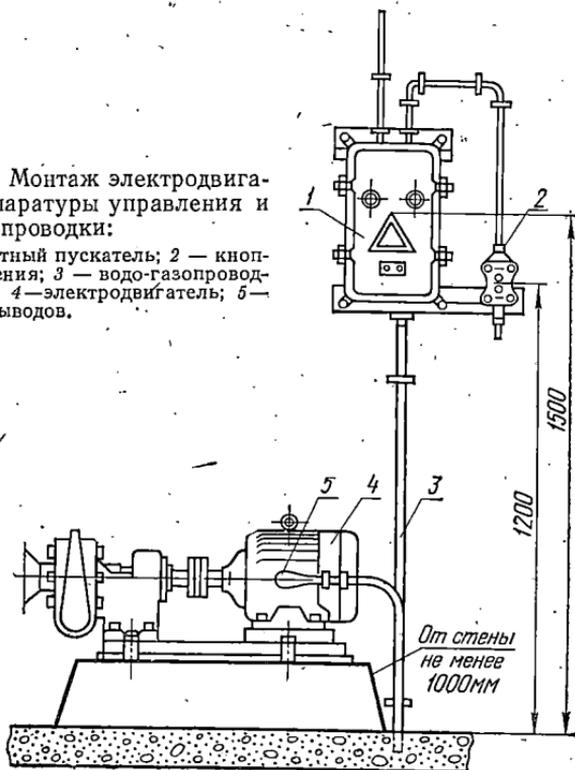
Аппараты управления и защиты устанавливают так, чтобы создать хорошие условия для эксплуатации.

Силовую проводку (рис. 144) выполняют в соответствии с указаниями ПУЭ. Корпус электродвигателя и металлические кожухи аппаратов управления заземляют.

Перед пуском электродвигателя убеждаются в надежности механических креплений, электрических соединений и заземления. На холостом ходу агрегата проверяют степень нагрева обмоток и подшипников, электродвигателя, работу аппаратуры управления.

Рис. 144. Монтаж электродвигателя, аппаратуры управления и силовой проводки:

1 — магнитный пускатель; 2 — кнопка управления; 3 — водо-газопроводная труба; 4 — электродвигатель; 5 — коробка выводов.



Уход за электродвигателем заключается в периодической его очистке от пыли и грязи, проверке всех креплений, контактных соединений, заземления, смазке подшипников. У электродвигателей с фазным ротором дополнительно проверяют состояние щеточного аппарата, контактных колец и реостата.

### **Лабораторная работа 13**

**Электропривод сельскохозяйственных машин**

**Цель работы.** Изучить электропривод рабочей машины; освоить приемы подготовки машины и электрооборудования к работе.

**Инструмент и оборудование.** 1). Рабочая машина. 2). Электропривод. 3) Набор инструментов. 4). Мегомметр.

**Последовательность выполнения работы.** 1. Ознакомиться с электроприводом рабочей машины (тип электродвигателя, механизм передачи, аппарата управления и защиты, их расположение, правильность монтажа).

2. Начертить электрическую схему управления машиной. Записать паспортные данные электродвигателя, техническую характеристику машины.

3. Проверить электрическую схему управления машиной.

4. Отрегулировать передаточный механизм, убедиться в правильности схемы соединения обмоток электродвигателя, проверить состояние аппаратуры управления.

5. Пустить машину и проверить на холостом ходу работу электрооборудования.

6. Составить отчет о работе.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что называют электроприводом?
2. Какие типы электроприводов получили наибольшее распространение в сельскохозяйственном производстве?
3. Каким образом электродвигатель соединяют с рабочей машиной?
4. Чем определяется предельно допустимая температура нагрева электродвигателя?
5. Как влияет температура нагрева электродвигателя на срок его службы?
6. Изложите порядок выбора электродвигателя к машине.
7. Расскажите о принципе работы и устройстве магнитного пускателя.
8. Каковы преимущества магнитного пускателя перед другими аппаратами управления?
9. Расскажите о назначении, принципе действия и типах предохранителей.
10. Расскажите о назначении, принципе работы и типах тепловых реле.
11. Каков порядок монтажа электродвигателя?
12. В чем заключается уход за электродвигателем?

## Глава XIV. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УСТАНОВОК В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

### § 1. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МАШИН ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Послеуборочная обработка зерна включает транспортные, погрузочно-разгрузочные работы, очистку, сушку, хранение и протравливание зерна. Все эти операции осуществляются различными комплексами машин: передвижными машинами индивидуального исполнения, которые механизмируют отдельные операции послеуборочной обработки; набором стационарных машин и оборудования, представляющих собой органически связанные поточные линии, комплексно механизмирующие все операции послеуборочной обработки зерна.

В комплекс передвижных машин входят: ворохоочиститель ОВП-20А, зерноочистительная машина для очистки семян ОС-4,5А, зернопогрузчик ЗПС-60, зерновой метатель ЗМ-30, сушилка зерновая передвижная барабанная СЗПБ-2,0. Эти машины выпускают с групповым или индивидуальным электроприводом, который создает благоприятные условия для их работы.

Передвижной очиститель вороха ОВП-20А предназначен для очистки зерна сельскохозяйственных культур преимущественно на открытых электрифицированных токах.

Машина снабжена механизмом передвижения по току с приводом от электродвигателя мощностью 1,1 кВт. Все рабочие органы машины, кроме загрузочного транспортера, приводятся в действие электродвигателем 7 кВт, загрузочный транспортер имеет электродвигатель мощностью 2,8 кВт. Зерноочистительная машина ОС-4,5А предназначена для очистки и сортирования зерна. Машина приводится в действие от электродвигателя мощностью 5,5 кВт.

Все поточные технологические линии для послеуборочной обработки зерна подразделяют на зерноочистительные агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы и семенные линии. Промышленность выпускает такие зерноочистительные агрегаты; как ЗАВ-10, ЗАВ-20, АЗС-30М, ЗАВ-40, зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-10Б, КЗС-20Б (с барабанными сушилками), КЗС-10Ш, КЗС-20Ш и КЗС-40 с шахтной сушилкой. Все поточные линии универсальны, их машины обрабатывают практически все культуры.

Таблица 11. Технические характеристики поточных линий

Наименование и тип предприятия	Производительность по пшенице, т/ч	Электро-двигатели		Технологическое	
		общее число, шт.	суммарная установочная мощность, кВт	воздушно-решетные машины (пред. перв., вторичная очистка), марка/шт.	триер, марка/шт.
Агрегат ЗАВ-40	40	16	47,3	ЗВС-20/2 и ЗАВ-40/2	ЗАВ-10.9/2
» ЗАВ-20	20	9	30,9	ЗАВ-10.3/2	ЗАВ-10.9/2
» ЗАВ-10	10	6	16,5	ЗАВ-10.3/1	ЗАВ-10.9/1
» ЗАР-5	5	9	30,6	ЗВС-20/1, СВУ-5/2	БТ-5/2
Комплекс КЗС-40	16...40	34	149,8	ЗД-10/1, ЗВС-20/2	ЗАВ-10.9/2
» КЗС-20Ш	16...20	25	130,1	ЗД-10/1, ЗАВ-10.3/2	ЗАВ-10.9/2 ЗАВ-10.9/2
» КЗС-20Б	16...20	26	100,2	ЗД-10/1, ЗАВ-10.3/2	
» КЗС-10Ш	8...10	22	64,4	ЗД-10/1, ЗАВ-10.3/1	
» КЗС-10Б	8...10	22	62,2	ЗД-10/1, ЗАВ-10.3/1	ЗАВ-10.9/1 ЗАВ-10.9/1
» КЗС-5	4...5	21	58,3	ЗВ-10	БТ-5/1
» КЗР-5	5	32	157,8	ЗД-10/1, ЗВС-20/1, СВУ-5/2	БТ-5/2
Семеоочистительная приставка СПЛ-5	5	11	37,3	СВУ-5/1	—
Семеоочистительная приставка СП-10	10	11	32,2	СВУ-2,5/2	—
Пункт «Петкус» по тип. пр. 812—10	2,5	37	105,1	К-522/1, К-531/1	К219/1

Для обеспечения устойчивой и надежной работы электрооборудования поточные линии, как правило, подключают к государственной сети электроснабжения.

Технические характеристики поточных линий приведены в таблице 11.

При поточной технологии операции обработки осуществляются последовательно за один пропуск зерна. Это достаточно полно может быть прослежено при рассмотрении комплекса КЗС-20Ш (рис. 145). Зерно необработанное из

оборудование

пневмостол, марка/шт.	сушилка, марка/шт.	бункер активно- го вентилярова- ния, марка/шт.	порционные ве- сы, марка/шт.	мешкозашивоч- ные машины, марка/шт.	нории, шт.	транспортеры, шт.	перекидные кла- паны, шт.	шиберы, шт.
—	—	—	—	—	2	3	2	4
—	—	—	—	—	1	2	2	1
—	—	—	—	—	1	1	1	1
—	—	—	—	—	3	—	5	1
—	СЗШ-16/1	—	—	—	7	4	8	3
—	СЗШ-16/1	—	—	—	6	3	7	3
—	СЗСБ-8/2	—	—	—	4	3	7	3
—	СЗШ-8/1	—	—	—	4	2	7	3
—	СЗСБ-4/1	—	—	—	3	2	7	3
—	СЗСБ-4/1	—	—	—	4	1	4	5
—	СЗШ-16/1	—	—	—	10	1	25	11
		БВ-25/4						
ССП-1,5/2	—	Д-100-3/1	Д-100-3/1	ЗЗЕ-М/1	9	—	3	2
ПСС-2,3/2	—		ДБК-300/1	ЗЗЕ-М/1	2	—	5	2
ССП-1,5 1	Т663/1	К878/2	ДВК-25/1	ЗЗЕ-М/1	9	1	8	4

автомашин с помощью автомобилеразгрузчика сыпается в завальную яму 2, откуда одной ветвью двухпоточной нории 3 оно в зависимости от положения клапана 23 подается или в бункер резерва 4, или в машину предварительной очистки 5, где зерно очищается от грубых, крупных и соло-мистых примесей, которые транспортером 19 подаются в бун-кер отходов 22. Из машины предварительной очистки 5 зерно, если оно влажное, при помощи перекидных клапа-нов 24 и 25 подается в нории 6 и 7 и далее в шахты 8 и 9



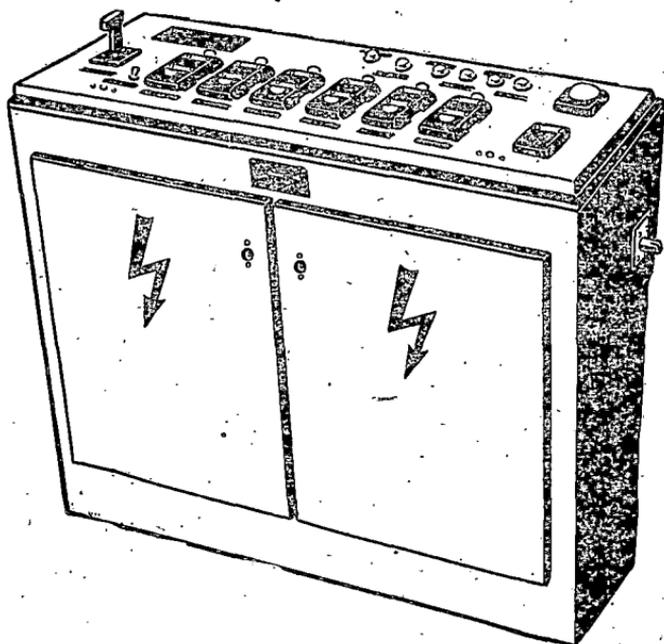


Рис. 146. Общий вид станции (пульта) управления зерноочистительным агрегатом производительностью до 10 м/ч.

вать работу электроприводов в заблокированном режиме (когда работа механизмов и машин осуществляется в строго определенной последовательности и зависимости друг от друга) и в деблокированном (ручном или наладочном) режиме, когда все машины могут работать независимо. В заблокированном режиме электродвигатели приводов запускают в последовательности, направленной навстречу движению зерна для того, чтобы не было завала зерна при остановке одной из машин, работающих в потоке.

Конструктивно станции управления агрегатами выполняют в виде шкафов и пультов (рис. 146).

Металлоконструкции станций управления имеют пылезащитное исполнение. На дверях устанавливают аппаратуру управления, внутри пускозащитную аппаратуру, реле, приборы. Ввод проводников осуществляется через вводную коробку на клеммные рейки. Переключателем формируют такие схемы управления, которые необходимы для обработки поступающего на объект зерна. Для дистанционного и автоматического управления в состав пунктов вхо-

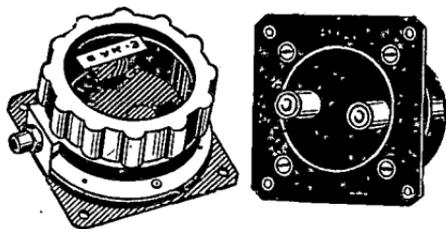


Рис. 147. Датчик контроля уровня зерна БУК-3.

дят разного рода регуляторы-датчики. Наиболее часто используют датчики уровня типа ДУМ-100К, СУС-11, БУК-3, датчики температуры, приборы контроля пламени в сушилках (рис. 147).

Влажность зерна является одним из основных факторов, определяющих возможность его длительного хранения без потерь и порчи. Исследования показывают, что контролировать влажность зерна на поточной линии следует не менее 20 раз в час. Это можно осуществить только средствами автоматики.

Для измерения влажности зерна в настоящее время большей частью используют электровлагомеры. Наибольшее распространение нашел диэлектрический метод — по изменению диэлектрической проницаемости или тангенса угла диэлектрических потерь.

Перечень технических средств и аппаратуры для измерения влажности зерна в потоке весьма ограничен. Общий вид датчика влажности зерна в потоке приведен на рисунке 148.

Наиболее распространенными рабочими машинами на предприятиях послеуборочной обработки зерна являются нории, ленточные транспортеры, шнеки. Мощность электродвигателя (кВт) для нории вычисляют по формуле (приближенной):

$$P = \frac{QH}{367\eta_1\eta_2}, \quad (208)$$

где  $Q$  — производительность нории, т/ч;

$H$  — высота подъема зерна, м;

$\eta_2 = 0,5 \dots 0,7$  — к.п.д. нории;

$\eta_1$  — к. п. д. передачи.

Для очистки семян клевера, люцерны, льна и других культур от трудноотделимых семян сорных растений, имеющих ше-

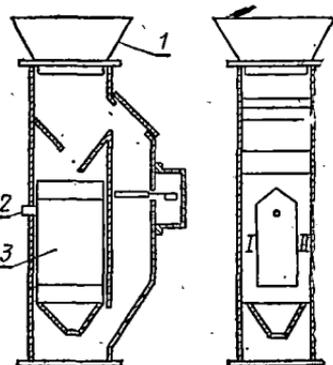


Рис. 148. Датчик поточного влагомера зерна:

1 — приемная воронка; 2 — кабельный разъем; 3 — чувствительный элемент; I—II — междуэлектродные полости.

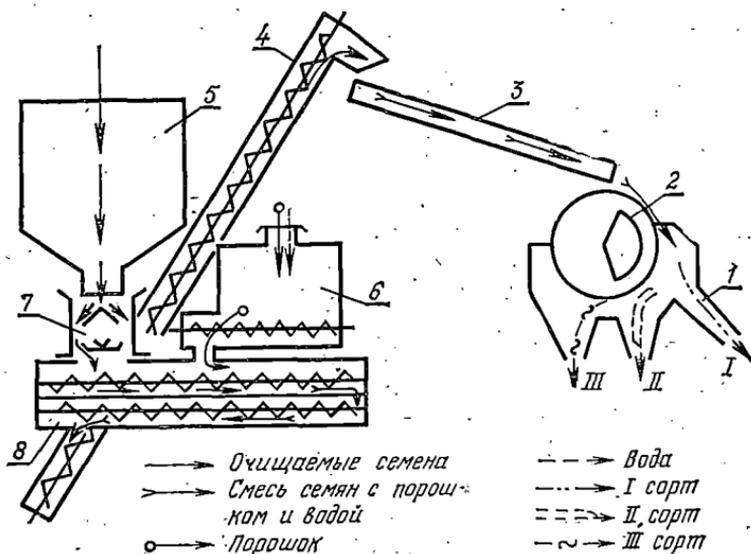


Рис. 149. Технологическая схема электромагнитной семяочистительной машины ЭМС-1А:

1 — приемник семян; 2 — электромагнитный барабан; 3 — лотковый транспортер; 4 — наклонный шнек; 5 — засыпной ковш; 6 — аппарат дозировки порошка; 7 — увлажнитель; 8 — смесительный шнек.

роховатую поверхность, используют электромагнитные семяочистительные машины. Такая машина работает следующим образом. Смесь семян увлажняют и смешивают с магнитным порошком, состоящим из 80% закиси-оксида железа и 20% масла, и специальным транспортером подают в электромагнитный барабан. Барабан состоит из вращающегося латунного цилиндра ( $n=43$  об/мин) и неподвижной оси, на которой установлены две катушки возбуждения и три стальных сектора электромагнита, отделенных друг от друга кольцевыми промежутками. Смесь семян проходит через электромагнитное поле, которое воздействует на семена сорняков, покрытые порошком, и отделяет их от культурных растений. Производительность таких машин 180...250 кг/ч, при этом порошка расходуется 1...2,5% от массы очищенных семян. Кинематическая схема электромагнитной семяочистительной машины ЭМС-1А приведена на рисунке 149. Электромагнитный барабан машины ЭМС-1А рассчитан на рабочее напряжение 40...50 В и силу тока 12А,

## § 2. ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСУШИВАНИЯ СЕНА

Современные сенохранилища должны обеспечивать возможность применения машин на погрузочно-разгрузочных работах и досушивания сена активным вентилированием.

Досушивание активным вентилированием заключается в продувке воздуха через штабель сена, в результате которой воздух поглощает влагу и тем высушивает сено. Поглощающая способность воздуха возрастает с повышением его температуры и снижается с увеличением относительной влажности. Наименьшее количество воздуха и статическое давление требуются при досушивании обыкновенного длинностебельного сена в россыпи. Для этой цели можно успешно использовать осевые вентиляторы. Для продувки прессованного и измельченного сена в высоких штабелях необходимы центробежные вентиляторы. Для проектирования установок активного вентилирования сена нужно знать основные аэродинамические характеристики вентиляторов и их конструктивные размеры (табл. 12 и 13).

В целях уменьшения зависимости процесса досушивания сена от неблагоприятных погодных условий и приготовления сена в более сжатые сроки рекомендуется вентилировать его подогретым воздухом. Подогрев воздуха на 1° понижает его относительную влажность примерно

Таблица 12. Основные характеристики вентиляторов для досушивания сена

Номер вентилятора	Осевые вентиляторы 06-320 и МЦ				Центробежные вентиляторы Ц 4-70			
	частота вращения, об/мин	при $\eta = 0,58$		Мощность электродвигателя, кВт	частота вращения, об/мин	при $\eta = 0,6$		Мощность электродвигателя, кВт
		производительность, тыс. м <sup>3</sup> /ч	напор, Па			производительность, м <sup>3</sup> /ч	напор, Па	
8	960	14	107,8	2,8	720	18	274,4	4,5
	1440	22	254,8	4,5	960	23	460,6	7,5
10	720	22	98	2,8	720	34	421,4	14
	960	29	166,6	4,5	960	47	754	22
12	720	38	147	5	720	61	627	22
	960	48	254,8	7,5	960	81	1078	40

Таблица 13. Основные конструктивные размеры вентиляторов

Марка	Высота центра ротора от поверхности почвы, мм	Габариты, мм			Внутренний диаметр всасывающего патрубка, мм	Внутренние размеры выходного патрубка, мм	Масса *, кг
		высота	длина	ширина			

Осевые вентиляторы

МЦ-8	550	1038	975	498	808	808	83
МЦ-10	670	1275	1210	570	1010	1010	133
МЦ-12	800	1525	1450	688	1212	1212	167
06-320 № 8	550	1040	980	520	808	808	112
06-320 № 10	670	1275	1210	630	1010	1010	195
06-320 № 12	800	1525	1450	735	1212	1212	360

Центробежные вентиляторы

Ц 4-70 № 8	890	1506	1236	1255	720	560×560	340
Ц 4-70 № 10	1100	1868	1536	1375	904	700×700	480
Ц 4-70 № 12	1310	2228	1836	1625	1024	840×840	732

\* Масса указана у осевых вентиляторов вместе с электродвигателем, а у центробежных вентиляторов — без него.

на 5%. Для этого используют воздухоподогреватели, технические характеристики которых приведены в таблице 14.

Таблица 14. Технические характеристики воздухоподогревателей

	ВПТ-400	ВПТ-600
Полезная теплопроизводительность, тыс. ккал/ч	300	400
Производительность, тыс. м <sup>3</sup> /ч	25	40
Напор, Па	588	588
Мощность электродвигателя, кВт	10	12
Подогрев воздуха, °С	До 50	

На рисунке 150 показан пример воздухораспределительной системы установки для активного вентилирования с использованием центробежного вентилятора.

Следует отметить, что при работе в сених сараях и около них для соблюдения противопожарных правил целесообразно использовать оборудование, работающее на электрической энергии. Примером таких машин могут служить транспортеры типов ТТ-И, пневмотранспортеры ТПП-30, ТПЭ-10А (рис. 151).

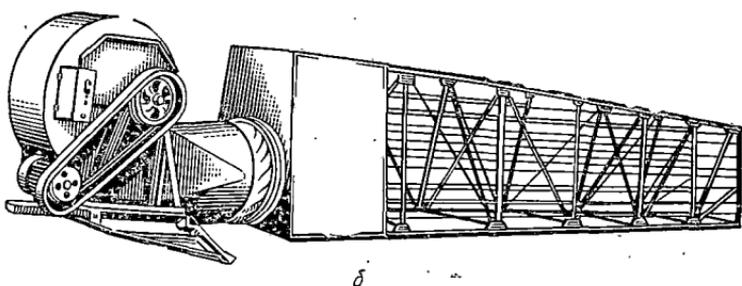
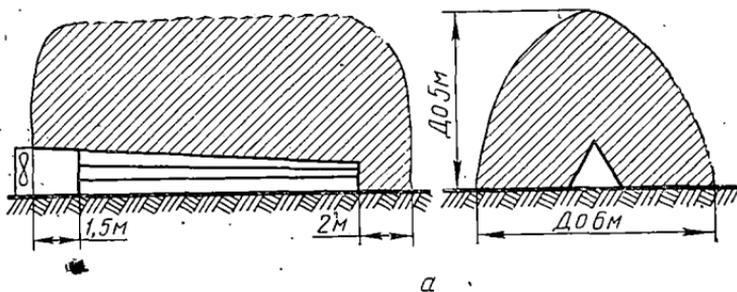


Рис. 150. Сушка сена в скирдах активным вентилированием;  
 а — схема; б — установка УВС-10.

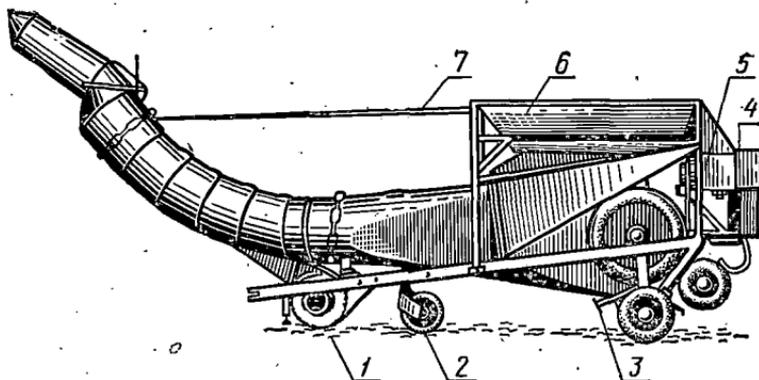


Рис. 151. Усовершенствованный пневматический транспортер ТПЭ-10А:  
 1 — дополнительный вентилятор; 2 — пневматическое колесо; 3 — опора; 4 — щит электрический; 5 — привод дозатора; 6 — дозатор; 7 — трос натяжной.

### § 3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ КАРТОФЕЛЕХРАНИЛИЩ И ФРУКТОХРАНИЛИЩ

Современные картофелехранилища представляют собой сложный инженерно-технический комплекс, включающий здание, санитарно-техническое оборудование, систему вентиляции, отопления и автоматизацию процессов. Способы размещения в них картофеля следующие: тарный способ (контейнеры, ящики), стеллажный (полки, стеллажи) и навалный большими массами (бункерный, закромный, навалный).

Одно из существенных преимуществ хранения в постоянных хранилищах — возможность автоматизации процессов поддержания необходимых режимов. Устройства автоматического регулирования температурно-влажностного режима в картофелехранилищах имеют свою специфику и сложности, заключающиеся в следующем:

в слое картофеля в различные периоды сезона хранения требуется поддерживать разные параметры воздушной среды;

охлаждение картофеля и удаление избыточных тепловыделений осуществляется, как правило, за счет подачи в хранилища наружного воздуха, параметры которого тоже непрерывно меняются;

низкая температура ( $2...5^{\circ}\text{C}$ ) и высокая относительная влажность воздуха ( $90...95\%$ ) в хранилище;

обслуживающий персонал обычно работает в одну смену, расчетные режимы в хранилищах нужно поддерживать круглосуточно.

Система автоматики вентиляционных установок картофелехранилищ должна обеспечить:

эффективное снижение температуры в хранилище и в слое картофеля в осенний и весенний периоды за счет использования более холодного наружного воздуха;

поддержание необходимой температуры в массе картофеля и в картофелехранилище в течение всего периода хранения;

защиту картофеля от подмораживания и перегрева.

Промышленность выпускает две системы автоматики для картофелехранилищ: ШАУ-АВ для регулирования режимов хранения картофеля с одной вентиляторной камерой и ШАХ-1 для регулирования температуры воздуха в хранилищах, оборудованных принудительной активной вентиляцией без искусственного охлаждения, при наличии от 2 до 6 вентиляционных камер.

выпускает холодильно-нагревательную машину типа ХМФ-16, работа которой полностью автоматизирована. На базе этой машины строят хранилища вместимостью от 100 до 700 т с децентрализованным (автономным) приготовлением холода.

Для хранилищ с централизованным приготовлением холода электропромышленность выпускает комплектное электрооборудование, технические данные которого приведены в таблице 15.

Таблица 15. Технические характеристики комплектного электрооборудования фруктохранилищ

Тип щита	Напряжение, В	Допустимые колебания напряжения, %	Частота, Гц	Число подключаемых электродвигателей	Присоединяемая мощность силовых потребителей, кВт.
ШАП5943-43А2	380/220	-7,5...+10,0	50	20	132
ШАП5944-53А2				23	160
ШАП5945-63А2				23	220
ШАП5986-53А2				26	207
ШАП5987-63А2				37	374
ШАП5988-73А2				50	456
ШАП5989-73А2				83	505

Продолжение

Тип щита	Габариты (высота × ширина × глубина), мм	Масса, кг	Типовые проекты фруктохранилищ	Вместимость фруктохранилища, т
ШАП5943-43А2	1900 × 2400 × 800	1050	813-20/70	270
ШАП5944-53А2	1900 × 2400 × 800	1050	813-28/70	520
ШАП5945-63А2	1900 × 2400 × 800	1050	813-29/70	770
ШАП5986-53А2	1900 × 2400 × 800	1100	813-65/71	1000
ШАП5987-63А2	1900 × 3200 × 800	1750	813-78/73	1500
ШАП5988-73А2	1900 × 4000 × 800	1800	813-77/73	2000
ШАП5989-73А2	1900 × 4000 × 800	1800	813-106	3000

#### § 4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОРОШЕНИЯ

Создание современных оросительных систем идет в настоящее время по двум главным направлениям. В новых районах орошения строят оросительные системы с машинным водоподъемом в магистральные и распределительные каналы и подачей воды на поля через закрытую трубопроводную сеть и широкозахватные дождевальные машины типа «Волжанка», «Фрегат», «Днепр». В Средней Азии распределение воды на поля осуществляется с помощью железобетонных лотков, гибких и жестких трубопроводов в борозды и полосы.

Для целей орошения широко используют стационарные, передвижные и плавучие насосные станции. Стационарные насосные станции располагают в наземных, полузаглубленных, заглубленных зданиях и специальных блоках. Мощность насосных станций колеблется от десятков до десятков тысяч киловатт. Особенно широко сеть оросительных насосных станций развивается после серийного освоения и поставок сельскому хозяйству таких высокопроизводительных дождевальных машин, как «Фрегат», «Волжанка», «Днепр».

В состав насосных станций входят водозапорное сооружение с рыбозаградителем, подводящий и всасывающий трубопровод, здание станции с насосно-силовым оборудованием и распределительным устройством, трансформаторная подстанция, напорный трубопровод и водовыпускное сооружение.

Привод насосов на стационарных насосных станциях осуществляется электродвигателями как асинхронными, так и синхронными на напряжения 0,38 кВ и 6...10 кВ. Передвижные насосные станции выполняют как электрифицированными, так и с приводом от двигателей внутреннего сгорания. Промышленность выпускает насосные станции типа СНПЭ производительностью до 60 до 240 л/с.

Основные узлы передвижной электрифицированной насосной станции смонтированы на раме. Привод центрального насоса консольного типа осуществляет специальный электродвигатель, имеющий удлиненный вал. В комплект входит вакуумный насос для заливки системы, электродвигатель и разборный трубопровод.

Насосные станции, как правило, автоматизированы. Объем и принцип автоматизации зависят от назначения

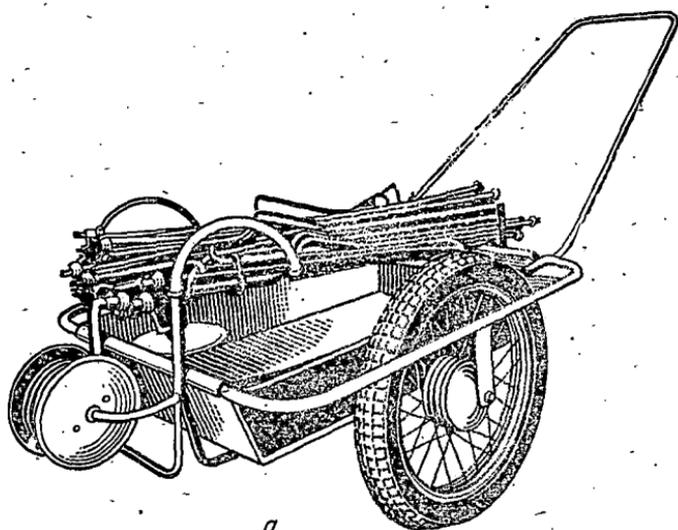
станций, их технологических схем и гидромеханического оборудования. Автоматизированные насосные станции, кроме индивидуального управления каждым из насосных агрегатов, имеют общую станцию автоматического управления работой насосной станции в целом, выполняющие следующие операции: изменяют порядок включения агрегатов; автоматически включают резервный агрегат при выходе из строя любого агрегата; автоматически включают насосную станцию после кратковременного выхода ее из строя и при исчезновении напряжения.

Для автоматического управления в оросительных системах широко применяют телеуправление. Внедрение телеуправления позволяет из центрального диспетчерского пункта не только контролировать и управлять работой насосных станций, но и вести оптимальное распределение воды по всей системе, учитывать водораспределение, избегать аварийных ситуаций. Связь между диспетчерским пунктом и объектами обеспечивается по воздушным и кабельным линиям связи.

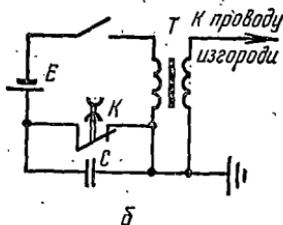
## § 5. ЭЛЕКТРОИЗГОРОДИ

Для охраны посевов сельскохозяйственных культур от животных широко применяют электроизгороди. Электрифицированная изгородь состоит из источника электрического тока, генератора электрических импульсов высокого напряжения — пульсатора, стальной проволоки ограждения, опор с изолирующими вставками и заземляющего устройства. Источником электрического тока могут быть аккумуляторная батарея или стационарная электрическая сеть.

Пульсатор изгороди состоит из прерывателя (механического или электронного) и импульсного трансформатора (рис. 154, б). Пульсатор с частотой 1...2 Гц генерирует импульсным трансформатором потенциал относительно земли порядка 9000...12000 В. Животное, коснувшись провода, попадает под напряжение и получает электрический удар, который безопасен для его жизни и здоровья, но действует отпугивающе. В течение 2...3 дней у животных вырабатывается условный рефлекс, и они избегают прикосновения к проволоке. Для экономичной работы современные конструкции электроизгородей работают в ждущем режиме — импульс тока появляется только при касании проволоки животным.



а



б

Рис. 154. Электроизгородь ЭК-1М:  
 а — общий вид; б — электрическая схема.

## § 6. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ПОЛЕВЫХ МОБИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

В современном растениеводстве большинство технологических процессов (обработка почвы, посадка растений, уборка урожая и т. п.) выполняют автоматизированными мобильными агрегатами: тракторами в сочетании с сельскохозяйственными машинами и орудиями, уборочными комбайнами. На многих агрегатах имеются разнообразные средства автоматического контроля, управления и защиты. Процесс автоматизации работы мобильных агрегатов идет в направлении обеспечения таких параметров, как траектория и скорость движения, нагрузка, глубина обработки почвы, высота среза, координаты положения рабочих органов, поддержание параметров микроклимата в зонах деятельности человека.

Для обеспечения требуемой технологии мобильные агрегаты должны строго выдерживать заданные траектории движения. Качественное вождение мобильного агрегата требует от оператора определенного опыта и постоянного внимания, так как ему нужно одновременно следить за многими параметрами, характеризующими соблюдение технологии, исправность машины и состояние рабочих органов. Для улучшения качества, увеличения эффективности работы и облегчения условий труда на мобильных агрегатах ведут разработки автоматизированных систем управления.

В первую очередь решают задачу максимального приближения траектории движения агрегата к заданной. Траекторию задают, предварительно прокладывая борозду, электрический кабель, проволоку вдоль обрабатываемого участка, а воспринимающие органы копируют траекторию, улавливая и обрабатывая ошибку рассогласования между действительной траекторией движения и заданной. В качестве воспринимающих элементов используют механические, электрические и оптические датчики. Такие системы могут найти практическое использование на всех основных полевых работах.

### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Какие технологические процессы в растениеводстве электрифицированы?
2. Расскажите об использовании электротехнологии в растениеводстве.
3. Как работает электроизгородь?
4. Каков порядок пуска технологических линий по очистке зерна?
5. Какие электроизделия применяют для искусственной сушки сена?
6. Каково направление автоматизации работы мобильных машин?
7. Перечислите принципы контроля влажности зерна.
8. Расскажите о мерах безопасности труда при работе на зерносушильных агрегатах.
9. Какие электродвигатели применяют для привода рабочих органов зерноочистительных машин?

## **Глава XV. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА**

### **§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Защищенный грунт (теплицы, парники) позволяет практически независимо от погодных условий обеспечивать необходимые условия роста и развития растений путем

электромеханизации и автоматизации процессов обогрева, увлажнения, подкормки и вентиляции.

Теплицы подразделяют на грунтовые, в которых культуры высаживают в питательный грунт, насыпанный на пол, и стеллажные, в которых растения возделывают на дощатых полках с грунтом. По времени эксплуатации теплицы бывают зимние, которые работают круглый год, и весенние, функционирующие весной, летом и частично осенью.

Зимние теплицы имеют остекленное покрытие, весенние бывают остекленными или пленочными. По конструктивным особенностям теплицы разделяют на однозвенные (ангарные) и многозвенные (блочные), по числу скатов кровли — на односкатные, двухскатные и многоскатные. Наиболее распространены блочные теплицы, представляющие собой соединение двухскатных, но без внутренних стен и перегородок, которые заменены опорами, и ангарные, соединенные между собой галереями.

Обогрев растений в теплицах — солнечный, биологический за счет тепла от биотоплива, технический (горячая вода, пар, электричество, тепловые отходы промышленных предприятий). Водяное отопление наиболее распространенное, хотя применяют теплогенераторы и электрокалориферы.

Современные теплицы — высокомеханизированные предприятия, оборудованные автоматизированными средствами для поддержания оптимальных параметров микроклимата, условий обитания растений, а их конструкция позволяет максимально механизировать основные производственные процессы.

В связи с концентрацией защищенного грунта и переводом его на промышленную основу в нашей стране создается сеть тепличных комбинатов.

## **§ 2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОСНОВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ТЕПЛИЦАХ**

Основу современных тепличных комбинатов составляют ангарные теплицы площадью до 1000 м<sup>2</sup> и блочные теплицы площадью 1 га и более. Для таких предприятий максимальный технико-экономический эффект дает автоматическое управление микроклиматом, то есть совместное управление температурно-влажностным режимом, режимом освещения и облучения, газовым составом. Современная технология и

автоматизация процессов позволяет получать максимальный выход продукции.

Рассмотрим основные системы управления. Система водяного обогрева блочных теплиц — основная система, представляет собой разветвленную сеть трубопроводов. Такая конфигурация приносит значительную инерционность и не позволяет оперативно и с заданной точностью управлять температурой при резких возмущениях. Для устранения этого в блочных теплицах в дополнение к основной системе обогрева применяют воздушную калориферную систему, которая при малой инерционности дает возможность поддерживать температуру с высокой точностью.

Система принудительной вентиляции и позволяет поддерживать не только требуемую температуру, но и газовый состав атмосферы в зоне растений. В этой системе применяют позиционное управление вентиляторами и пропорциональное изменение положения боковых и коньковых фрамуг посредством регулятора. Чтобы теплица не переохлаждалась во время сильных порывов ветра, фрамуги автоматически закрываются по сигналу анемометра.

Система управления влажностным режимом почвы и воздуха в теплице поддерживает требуемую влажность посредством способов дождевания и корневого полива через капиллярные трубки. Системы дождевания используют и для внесения минеральных удобрений в растворах.

Система управления содержанием углекислого газа в атмосфере теплиц поддерживает интенсивный фотосинтез за счет генерирования в нужных объемах и по заданной программе углекислого газа.

Система искусственного освещения и облучения используется в основном при выращивании рассады и обеспечивает оптимальную длительность облучения и теневой паузы с учетом фотопериодического эффекта.

### § 3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛИЦ

Отечественная промышленность выпускает комплекты электрооборудования для управления технологическими процессами в сборных теплицах, строящихся по проектам № 810—78 (блок зимних ангарных теплиц площадью 3 га) и № 810—77 (блок пленочных теплиц площадью 1 га).

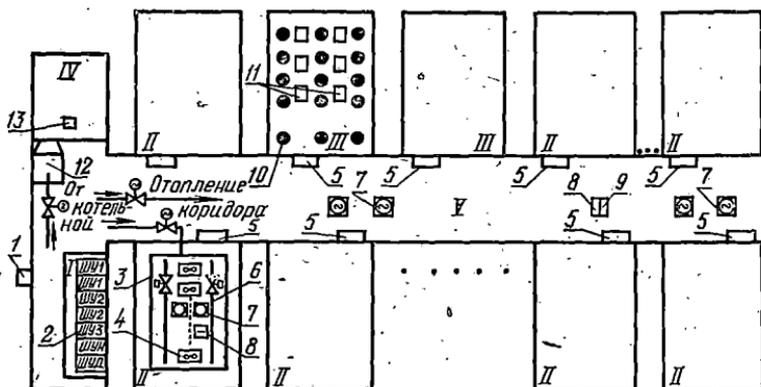


Рис. 155. План расположения технологического оборудования в ангарных теплицах:

1 — щитовая; II — овощные отделения; III — рассадные отделения; IV — вспомогательные помещения; V — коридор; 1 — датчик скорости и направления ветра; 2 — шкафы управления микроклиматом, насосами и облучением рассады; 3 — трубопровод штаргового обогрева с регулирующим клапаном; 4 — водяной calorифер; 5 — шкафы местного управления приводами; 6 — поливной трубопровод с электромагнитным клапаном; 7 — электрический исполнительный механизм системы вентиляции; 8 — панель датчиков давления; 9 — панель датчиков освещенности; 10 — ртутно-вольфрамовая лампа; 11 — силовые блоки; 12 — приточная установка; 13 — датчик температуры.

План расположения основного технологического оборудования в теплице площадью 3 га показан на рисунке 155. Теплица оборудована водотрубной системой обогрева и водяными calorиферами, которые включаются при температуре наружного воздуха ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ . Полив почвы и увлажнение воздуха осуществляются под давлением через специальные форсунки, установленные на полиэтиленовом трубопроводе, которые могут быть размещены на двух уровнях. Чтобы обеспечить постоянный расход воды через распылители, их снабжают сменными диффлекторами переменных сечений.

Воду для полива и увлажнения предварительно нагревают до температуры  $20...22^{\circ}\text{C}$ .

Система внесения и регулирования концентрации растворов минеральных удобрений работает по следующей технологической схеме. Маточный раствор насосом подается из резервуара через регулирующий клапан в поливной трубопровод. В нем в зоне смешивания концентрированного раствора и воды установлен датчик проточного типа. При отклонении концентрации от заданного значения регулирующий прибор выдает сигнал на изменение количества подачи маточного раствора.

Для обогрева почвы горячая вода поступает в магистральный трубопровод через регулирующие клапаны. Прибор измеряет, усиливает и преобразует сигналы датчиков температуры и задатчиков. Выходной сигнал поступает на электрические исполнительные механизмы регулирующих клапанов, плунжеры которых занимают положение, соответствующее заданной температуре почвы.

Углекислый газ подается в теплицу специальными источниками  $\text{CO}_2$  по программе, задаваемой временными программаторами.

Система автоматического регулирования (САР) температуры воздуха (отопление и вентиляция) предназначена для поддержания заданной температуры в 12 овощных и 2 рассадных отделениях теплицы, коридоре и бытовом помещении.

САР температуры воздуха обеспечивает работу технологического оборудования в овощных отделениях по следующей программе. При температуре выше заданной на  $1^\circ$  клапан отопления и фрамуги форточной вентиляции закрываются в течение 10 с, первая и вторая группы вентиляторов водяных калориферов отключаются. При разбалансе на  $2^\circ$  клапан отопления закрывается, правая верхняя вентиляция открывается в течение 10 с, а фрамуги остальной вентиляции продолжают закрываться. Если разбаланс равен  $3^\circ$  — клапан отопления продолжает закрываться, правая и левая верхняя вентиляции открываются, а боковая закрывается; при  $4^\circ$  — клапан отопления закрывается, открываются фрамуги верхней и правой боковой вентиляции, а левая боковая закрывается; при  $5^\circ$  — клапан отопления продолжает закрываться, открываются фрамуги верхней и боковой вентиляции; при  $6^\circ$  — программа повторяется, одновременно включается световая и звуковая сигнализация аварийно высокой температуры.

При равенстве температуры внутри отделений заданному значению клапан отопления не включается, фрамуги верхней и боковой вентиляции закрываются. Как только она снизится на 1 или  $2^\circ$ , открывается клапан отопления, а вентиляция закрывается. Если разбаланс равен  $3^\circ$  — клапан открывается, включаются и работают вентиляторы первой группы калориферов;  $4^\circ$  — клапан открывается, включаются вентиляторы второй группы калориферов;  $5^\circ$  — программа повторяется, включаются световая и звуковая сигнализация аварийно низкой температуры.

При регулировании температуры воздуха в соединитель-

ном коридоре работает клапан отопления и верхняя вентиляция. В бытовом помещении температура воздуха поддерживается только клапаном отопления.

САР температуры воздуха состоит из блоков управления, которые соединены согласно электрической принципиальной схеме и размещены в шкафу ШУ1.

САР температуры почвы поддерживает ее в заданных пределах в двух рассадных отделениях теплицы. Для этого в системе автоматического регулирования температуры воздуха предусмотрены два клапана. При изменении температуры почвы прибор управления воздействует на каждый из двух исполнительных механизмов, установленных на трубопроводе теплоносителя, регулируя его температуру в системе подпочвенного обогрева.

Система автоматического управления поливом почвы и увлажнением воздуха позволяет осуществлять их по выбранным участкам с заданной продолжительностью. Она состоит из блоков, которые размещены в шкафу ШУ2.

Система автоматического регулирования концентрации растворов минеральных удобрений позволяет измерять и регулировать ее в диапазоне 0...0,2 МПа осмотического давления. Она состоит из блоков управления и размещена в шкафу ШУ3.

Система автоматического регулирования температуры поливной и увлажняющей воды может изменять ее в пределах от 0 до 40°C. Она состоит из блоков управления и смонтирована в шкафу ШУ3.

Система автоматической регистрации температуры воздуха записывает температуру на диаграммную ленту в 12 овощных отделениях. Она выполнена на базе самопишущего моста температуры КСМ-020 и размещена в шкафу ШУ1.

Система автоматического управления подачей углекислого газа и облучением растений обслуживает 12 овощных отделений и 2 рассадных отделения. Она работает круглосуточно по заданной временной программе с периодом 24 ч и состоит из блоков управления, размещенных в шкафу ШУ2.

Система питания блоков шкафов управления предназначена для питания элементов серии «Логика Т». Блок БП размещают в шкафах ШУ1, ШУ2 и ШУ3.

В отделениях теплицы установлены по две панели ПД1 и ПД2: на одной размещены два датчика для конт-

роля температуры воздуха, на другой — датчик влажности.

В соединительном коридоре теплицы смонтирована панель датчиков освещенности.

Системы контроля позволяют визуально определять в 24 отделениях теплицы температуру воздуха, поливной воды, наружного воздуха, а также скорость ветра. При критической скорости ветра выдается форсированный сигнал на экстренное закрытие верхних и боковых вентиляционных фрагм. Систему контроля скорости ветра устанавливают в шкафу управления ШУ2.

Для управления технологическим оборудованием в каждом отделении теплицы в автоматическом и ручном режимах, а также насосами-повысителями перечисленных систем разработаны шкафы типов ШУМ и ШУН, а для пленочных теплиц — ШУП. Первые два шкафа входят в комплект УТ-12-УЗ, а ШУП — в УТ-12П-УЗ (табл. 16).

Комплектное электрооборудование для тепличных комбинатов поставяет Всесоюзное объединение «Госкомсельхозтехники».

Селекционный комплекс с теплицами площадью до 1500 м<sup>2</sup> предназначен для создания условий, ускоряющих развитие сельскохозяйственных культур на ранних этапах селекции. В нем выращивают два-три поколения этих культур в год. В камерах искусственного климата и боксах теплиц оценивают селекционный материал на морозо- и засухоустойчивость, сопротивление болезням и вредителям, исследуют физиологию и биохимию растений.

Комплекс состоит из селекционного тепличного блока (две группы теплицы площадью по 500 м<sup>2</sup>, одна из которых оборудована стеллажами); теплицы с селекционным боксовым отделением и вегетационной площадкой общей площадью 750 м<sup>2</sup>; лабораторного корпуса с залом камер искусственного климата, бытовыми, вспомогательными и подвальными помещениями для кондиционеров, холодильного и вентиляционного оборудования; блока приготовления почвенных смесей.

План размещения основного технологического оборудования селекционного комплекса показан на рисунке 156.

Тепловой режим грунтовых теплиц поддерживают кондиционеры КТ-60, а каждого бокса и встроенной климатической камеры — кондиционер типа НК. Для работы кондиционеров предусмотрены холодильные машины ХМ-ФУУ80/1 и насосы прямого и обратного водоснабжения.

Таблица 16. Комплекты электрооборудования для ангарных и пленочных теплиц

Состав комплекта электрооборудования	Ангарные теплицы по типовому проекту № 810—78 площадью				Пленочные теплицы по типовому проекту № 810—77			
	1 шт	2 шт	3 шт	из облегченных конструкций	распадные с ка-лориферным обо-гревом	распадные с обо-гревом от тепло-генератора	модель комплекта электрооборудования	модель комплекта электрооборудования
Шкаф управления микроклиматом ШУ1	1	1	2	1	1	1	УТ-123ПУЗ	УТ-125ПУЗ
Шкаф управления поливом и увлажнением ШУ2	1	1	2	1	2	1	УТ-124ПУЗ	УТ-124ПУЗ
Шкаф концентрированных минеральных удобрений и регулирования температуры поливной воды ШУ3	7	14	20	—	—	—	УТ-123ПУЗ	УТ-125ПУЗ
Шкаф местного управления ШУМ	1	1	1	—	—	—	УТ-123ПУЗ	УТ-125ПУЗ
Шкаф управления насосами ШУН	—	—	—	1	2	1	УТ-123ПУЗ	УТ-125ПУЗ
Панель датчиков ПД-1, ПД-2	7	14	20	2	8	8	УТ-123ПУЗ	УТ-125ПУЗ

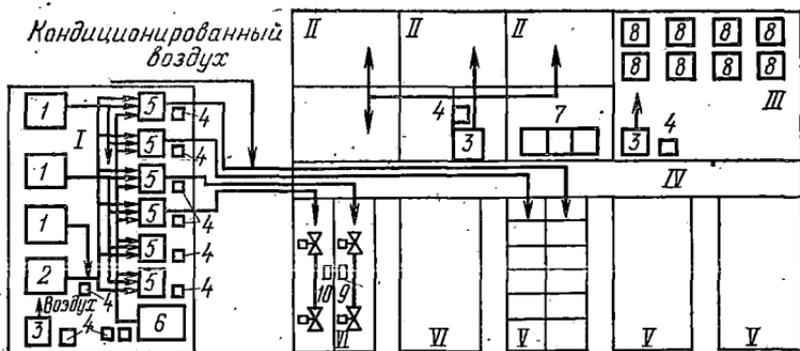


Рис. 156. План расположения технологического оборудования в селекционном комплексе:

*I* — подвальные помещения; *II* — лабораторный корпус; *III* — зал климатических камер; *IV* — коридор; *V* — боксовые теплицы; *VI* — грунтовые теплицы; 1 — холодильные станции; 2 — компрессорная станция; 3 — приточные установки; 4 — пульты управления; 5 — кондиционеры; 6 — насос; 7 — шкаф контроля и аварийной сигнализации; 8 — климатические камеры; 9 — панель датчиков; 10 — поливочный трубопровод.

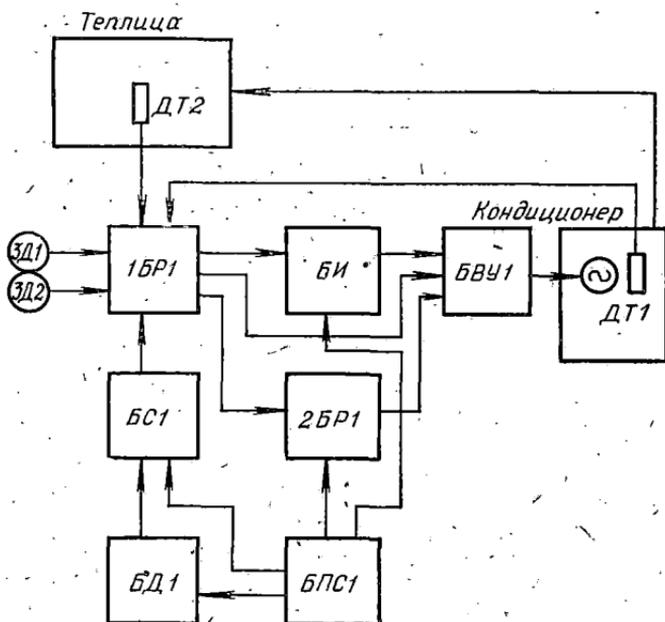


Рис. 157. Структурная схема подсистемы автоматического регулирования температурно-влажностного режима грунтовых теплиц:

*ДТ1* и *ДТ2* — датчики температуры; *ЗД1* и *ЗД2* — задатчики температуры; *1БР1* и *2БР1* — блоки реле; *БИ* — измерительный блок; *БВУ1* — блок выходных устройств; *БД1* — блок дешифратора; *БПС1* — блок питания.

В селекционном комплексе установлены системы автоматического регулирования основных технологических параметров типа УСК-1УЗ, которые позволяют в широких пределах менять программы микроклимата с учетом выращиваемых культур и цели опыта: температурно-влажностного режима встроенных климатических камер, грунтовых или боксовых теплиц; температуры воздуха вспомогательных помещений; температуры поливной воды; управления работой компрессорной станции и насосов; контроля и записи температуры и влажности воздуха в теплицах; аварийной сигнализации критических значений технологических параметров селекционного комплекса.

Структурная схема подсистемы автоматического регулирования температурно-влажностного режима грунтовых теплиц (рис. 157) построена по принципу многоканальности.

Схема обегания — блок сдвигающего регистра на двух элементах (*БСИ*) включает поочередно герконные реле блока *ИБР1*. Контакты этих реле подключают к измерительному мосту блока *БИ* датчики температуры каналов регулирования и соответствующие им задатчики.

При рассогласовании заданной и действительной температур на измерительном мосту блока *БИ* появляется сигнал ошибки. Усиленный сигнал включает реле «Больше» или «Меньше», в зависимости от знака рассогласования. Эти реле совместно с реле соответствующего канала регулирования управляют тиристорными ключами (блок выходных устройств *БВУ1*), подающими напряжение на нужный исполнительный механизм кондиционера.

Схема рассчитана на четыре канала регулирования. Время их подключения отсчитывается в блоке дешифратора *БД1*, состоящем из генератора импульсов и цепочки триггеров, и может изменяться в широких пределах по каждому каналу регулирования. Подсистемы автоматического регулирования температуры воздуха вспомогательных помещений и поливной воды работают аналогично.

Схема подсистемы полуавтоматического управления поливом грунтовых теплиц (рис. 158) предусматривает поочередный полив восьми участков теплицы с кратностью от 1 до 5. Время полива каждого участка отсчитывается блоком дешифратора *БД1* и может изменяться от 30 с до 15 мин. Кратность и время полива задаются галетными переключателями, а программа ее набирается замыканием тумблеров участков, нуждающихся в поливе.

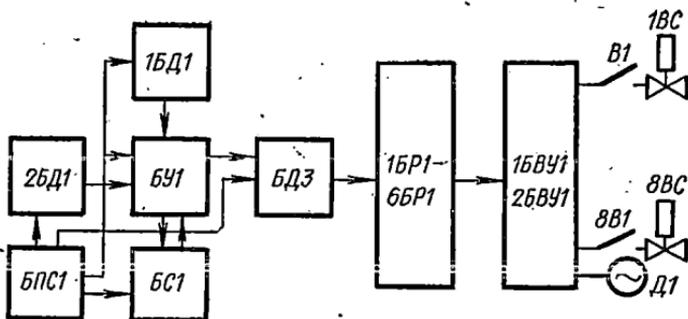


Рис. 158. Структурная схема подсистемы полуавтоматического управления поливом грунтовых теплиц:

1БД1, 2БД1 и БДС — блоки дешифраторов; БУ1 — блок управления; 1БР1 — 6БР1 — блоки реле; 1БВУ1—2БВУ1 — блоки выходных устройств; БПС1 — блок питания; БС1 — блок согласования; В1 и 8В1 — тумблеры; 1ВС и 8ВС — соленоидные вентили; Д1 — насос-повыситель.

При включении схемы срабатывает реле первого участка (блок 1БР1). Контакты его замыкают цепь управления тиристорного ключа блока 1БВУ1, подающего напряжение на соленоидный вентиль 1ВС полива этого участка. Если тумблер В1 замкнут, вентиль открывается и происходит полив. По истечении времени на вход блока БДЗ поступает импульс отрицательного напряжения, переводящий его в другое устойчивое состояние. Затем подключается следующий участок. Если тумблер участка разомкнут, переход схемы на другой участок происходит за время, равное 0,5 с. После полива восьмого участка схема отключается, если заданная кратность равна 1, или повторяет описанный цикл работы заданное число раз.

Одновременно с поливом включается насос-повыситель давления Д1 поливной воды в трубопроводе. Номер поливаемого участка и текущая кратность полива сигнализируются на индикаторных лампах.

Структурная схема подсистемы автоматического управления компрессорной станцией (рис. 159) состоит из четырех блоков управления, коммутационной и сигнальной аппаратуры, устанавливаемой отдельно. Компрессор и двигатель «холостого хода» включают вручную. В схеме предусмотрено автоматическое управление продувкой ресивера с определенными периодом и длительностью. Они задаются галетными переключателями и отсчитываются в блоке БД1.

Все схемы построены на базе транзисторных элементов серии «Логика Т» и тиристорных ключей и размещены в уни-

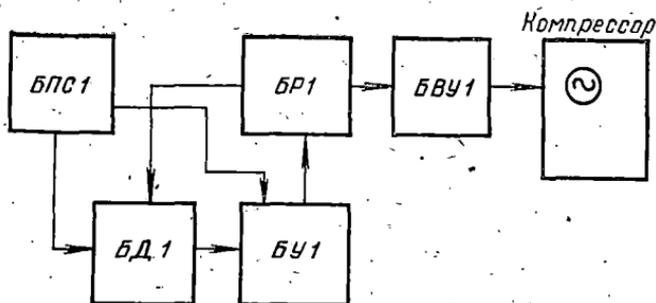


Рис. 159. Структурная схема подсистемы автоматического управления компрессорной станцией:

БПС1 — блок питания; БР1 — блок реле; БВУ1 — блок выходных устройств; БД1 — блок дешифраторов; БУ1 — блок управления.

фицированных блочных конструкциях. Комплект состоит из 21 пульта единой конструкции, 3 шкафов и 14 панелей датчиков. В двух шкафах расположены три схемы полива, один шкаф предназначен для аварийной сигнализации, контроля и записи температуры и влажности воздуха в 14 отделениях селекционного комплекса. Все остальные системы расположены в пультах управления.

#### § 4. ОБОГРЕВ ПАРНИКОВ И ТЕПЛИЦ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРОВ

Электрические калориферы применяют для подогрева воздуха при сушке семян бахчевых и зерновых культур, при активном вентилировании в овощехранилищах, при сушке сена, при воздушном обогреве парников и теплиц. Электрокалориферная установка состоит из следующих основных узлов: камеры с нагревательными элементами, вентилятора с электроприводом, трубопроводов, подводящих и отводящих воздух, аппаратуры управления.

Нагревательные элементы включают после пуска, а отключают раньше остановки электродвигателя привода вентилятора, чтобы они не перегорели из-за ухудшения теплоотдачи от нагревателя к воздуху. Для регулирования температуры выходящего воздуха нагревательное устройство выполняют таким образом, чтобы можно было изменить число работающих нагревателей.

Электрокалориферы для обогрева парников монтируют в специальных помещениях — вентиляционных камерах и

Таблица 17. Краткие технические характеристики электрокалориферов серии СФОА

Показатели	СФОА 5/0,5	СФОА 10/0,5	СФОА 16/0,5	СФОА 25/0,5	СФОА 40/0,5	СФОА 60/0,5	СФОА 100/0,5
Мощность, кВт:							
общая	5,4	10,2	15,75	23,25	46,5	69	94
калориферная	4,8	9,6	15	22,5	45	67,5	90
Производительность при температурном перепаде нагреваемого воздуха 50°C, м³/ч	800	1600	950	1480	2480	3580	5940

прогоняют нагретый воздух по системам асбоцементных или гончарных труб и воздуховодным каналам.

Электрообогрев парников на базе электрокалориферов относится к воздушному и комбинированному почвенно-воздушному способу.

#### § 5. ПОЧВЕННЫЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВ ПАРНИКОВ

Парники с почвенным электрообогревом находят широкое распространение. Средняя установленная мощность нагревательных элементов составляет для рамных парников 200 Вт/м². В качестве нагревательных элементов для обогрева парников используют стальную оцинкованную проволоку, протянутую в изоляционных трубах, нагревательный провод марки ПОСХП, ПОСХВ.

Для обогрева парника провода укладывают в подпочвенный слой в трубах, плитах или покрывают цементной стяжкой.

Таблица 18. Конструктивные данные и расчетная масса нагревательных проводов

Марка	Диаметр токопроводящей жилы, мм	Толщина изоляции, мм	Наружный диаметр провода, мм	Масса, кг/км	Рабочая температура, °C	Напряжение, В
ПОСХП	1,1	0,6	2,3	10,5	90	До 250
ПОСХВ	1,1	0,9	2,9	15,5	70	

Температурный режим в парниках может поддерживаться автоматически при помощи специальных станций управления. Примером такой станции может служить освещенная промышленностью станция управления ШАИ-9966. Температуру регулируют при помощи терморегуляторов ПТР или РТБ.

## § 6. ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЕ МАШИНЫ И ОРУДИЯ ДЛЯ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Системой машин для механизации работ в тепличных комбинатах предусматривается комплекс орудий, часть из которых электрифицирована. Краткая техническая характеристика электрифицированных машин и орудий для защищенного грунта приведена в таблице 19.

Предназначенная для обработки почвы в парниках и теплицах электрофреза ФС-0,7А рыхлит почву на глубину до 25 см на ширине 0,7 м со скоростью передвижения 0,85 км/ч. Фрезу можно использовать также для приготовления смеси, заделки удобрений и стерилизации почвы. Для междурядной обработки и перекопки почвы предназначена электромотыга ЭМ-12, ее ширина захвата 0,12 м, глубина обработки 0,1 м.

Таблица 19. Основные технические характеристики машин и орудий

Наименование	Марка, тип	Производительность	Установленная мощность, кВт	Масса, т
Транспортер-просеиватель	ТП-5-30	15 м <sup>3</sup> /ч	1,7	0,5
Молотилка околотная	ОМ-1,0	0,85...1,2 м/ч	4,5	1,45
Смеситель торфо-перегнойной массы	СТИМ-8М	1,55 м/ч	2,8	0,3
Матовязальная машина	МВМ-250	180 пог/м·ч	2,8	0,6
Станок-полуавтомат для изготовления торфо-перегнойных горшочков	ИГ-9М	700 тыс. шт./ч	4,5	0,8
Электрофреза для обработки почвы	ФС-0,7А	630 м <sup>2</sup> /ч	2,8	0,2
Электромотыга для рыхления междурядий	ЭМ-12А	150 м <sup>2</sup> /ч	0,3	0,04
Передвижная насосная станция для жидкой подкормки растений	НСП-960	500 м <sup>2</sup> /ч	2,8	0,29

Транспортер-просейватель ТП-5-30 применяют для измельчения и просеивания торфа, земли, компостов. Машина представляет собой пятиметровый ленточный транспортер и битерный грохот. Обслуживают его 2...3 человека.

Горшочкоделательная машина ИГ-9М обеспечивает подготовительные и основные операции при изготовлении торфо-перегнойных горшочков. Машину обслуживают 7...8 человек.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. В каких технологических процессах в тепличном овощеводстве используют электрическую энергию?

2. Перечислите основные технические характеристики электрифицированных машин для теплиц.

3. Какие существуют способы регулирования температуры и влажности в ангарных и пленочных теплицах?

4. Что вы знаете об автоматизации технологических процессов в селекционных центрах?

5. Расскажите о технических средствах воздушного электрообогрева парников и теплиц.

6. Каковы основные меры безопасности труда при работе в теплицах, в чем они заключаются?

## **Глава XVI. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

### **§ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ОХРАНЕ И МЕРАМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

Под охраной труда понимают систему мероприятий-обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья трудящихся условия выполнения работы. Основные положения по охране труда изложены в Конституции СССР и в законодательстве о труде. Охрана труда предусматривает:

1) представление различных льгот работникам вредных и тяжелых профессий;

2) контроль за состоянием условий работы (обеспечение безотказности водоснабжения, вентиляции, канализации, освещения, отопления; борьба с производственным шумом; удаление с рабочих мест пыли и ядовитых газов и т. п.) — так называемую производственную санитарии;

3) создание системы технических средств и приемов работы, обеспечивающих безопасность труда, то есть организацию мер безопасности труда.

По мере развития науки и техники набор средств, обеспечивающих безопасность труда, увеличивается. В настоящее время средствами, обеспечивающими безопасность работы, являются:

а) оградительные устройства, изолирующие человека от опасности, например блокировка доступа к цепям высокого напряжения;

б) предохранительные устройства, предотвращающие аварии оборудования, опасные для обслуживающего персонала (например, обычный плавкий предохранитель);

в) устройства, сигнализирующие об опасности;

г) профилактические испытания аппаратуры;

д) опознавательная окраска, предупредительные знаки и плакаты;

е) индивидуальные защитные средства.

Выполнение большинства правил безопасности труда зависит от самих работающих, но значительную ответственность во всех случаях несут должностные лица: руководители предприятий, цехов, участков и лабораторий, бригадиры, мастера, инженеры по технике безопасности и т. д. Они обеспечивают нормальные условия работы для рабочих всех профессий данного предприятия или его подразделений, периодически проводят инструктаж, следят за исправностью всех ее средств и за соблюдением рабочими необходимых правил.

Каждый работник обязан периодически проходить инструктаж по вопросам охраны труда и безопасным приемам работы. Существуют три вида инструктажа — вводный, на рабочем месте и повторный.

**Вводный инструктаж** проводят при оформлении работника на предприятие. Инструктаж проводит инженер по технике безопасности. Задача инструктажа — ознакомление со спецификой хозяйства, с правилами внутреннего распорядка, с правилами пользования защитными средствами, с противопожарными мероприятиями, электробезопасностью и приемами оказания первой помощи.

**Инструктаж на рабочем месте** проводит бригадир, мастер, начальник участка. Работника знакомят с рабочим местом, оборудованием, технологией производства и безопасными приемами труда, а также с инструкциями, относящимися к данной профессии.

После обучения на рабочем месте и получения навыков безопасной работы квалификационная комиссия проверяет

знание правил техники безопасности у работника и присваивает ему квалификационную группу.

Повторный инструктаж проводит администрация с целью повышения знаний по мерам безопасности труда и совершенствованию безопасных приемов работы. Инструктаж включает противоаварийные тренировки, разбор и обобщение причин происшедших несчастных случаев, проверку знаний действующих в хозяйстве инструкций по мерам безопасности труда для данной профессии.

Администрация предприятия, имеющего склады ТСМ (топливо-смазочных материалов), обязана разработать положение по мерам безопасности труда на территории хозяйств, с которыми должны быть ознакомлены вновь поступающие работники.

## § 2. ОПАСНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электрический ток при неправильной эксплуатации электроустановок может оказаться источником тяжелых несчастных случаев, а при некоторых обстоятельствах даже со смертельным исходом.

Основные причины поражения электрическим током: прикосновение к токоведущим частям электрооборудования или недопустимое приближение к ним; несоблюдение правил безопасности труда при эксплуатации электротехнических установок. Сила тока, проходящего через тело человека, попавшего в аварийную ситуацию, зависит от величины приложенного напряжения и сопротивления тела, которое непостоянно и может изменяться в зависимости от ряда факторов. При этом наиболее тяжелые последствия поражения в том случае, если путь тока проходит через сердце и легкие, так как ток парализует деятельность этих важнейших жизненных органов.

Большое значение имеет и продолжительность воздействия. При расчетах электробезопасности принимают допустимыми:

силу тока, мА	250, 65, 6
продолжительность, с	0,2, 1, 30

При эксплуатации электротехнических устройств и установок несчастные случаи происходят еще и потому, что металлические части, обычно не находящиеся под напряжением, из-за пробоя изоляции либо по какой-то другой причине оказываются под напряжением.

### § 3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО МЕРАМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Основные условия безопасности обслуживающего персонала в электроустановках.— исключение возможностей случайного прикосновения к токоведущим частям. Для этого необходимо поддерживать изоляцию в хорошем состоянии, ограждать все токоведущие неизолированные элементы установки, а также располагать токоведущие неизолированные части на высоте, недоступной без специальных приспособлений.

К обслуживанию электроустановок допускают лиц, прошедших обучение на рабочем месте и имеющих соответствующее удостоверение. Обслуживающий персонал должен быть обеспечен необходимыми защитными средствами.

Защитными средствами называются приборы, аппараты, приспособления и устройства, служащие для защиты персонала, работающего на электроустановках, от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги, продуктов ее горения и т. п.

Все защитные средства подразделяют на две группы: основные и дополнительные.

Основными защитными средствами называют средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение и при помощи которых допускается прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Дополнительными защитными средствами называют средства, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить безопасность от поражения током. Такие средства используют с основными средствами.

К основным защитным средствам в электроустановках до 1000 В относят: диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными ручками, указатели напряжения.

К дополнительным защитным средствам в электроустановках до 1000 В относят: диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Все производственные и другие постройки в зависимости от возможности поражения электрическим током подразделяют на помещения с повышенной опасностью, особо опасные и без повышенной опасности.

К помещениям с повышенной опасностью относят: овощехранилища, доильные залы и некоторые другие.

О с о б о о п а с н ы м и являются: теплицы, парники, установки под навесом, в сараях и подсобных помещениях с температурой и влажностью, практически не отличающихся от наружных условий, а также склады минеральных удобрений.

Для предупреждения несчастных случаев при эксплуатации электротехнических установок «Правилами устройства электроустановок» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» определены требования, которые должны неукоснительно выполняться.

Наиболее надежной защитой от поражения электрическим током является защитное заземление нетоковедущих металлических частей оборудования, могущего оказаться под напряжением. При напряжении выше 36 В переменного тока и 110 В постоянного тока заземлению подлежат корпуса электрооборудования, приборов и инструментов только в особо опасных и наружных установках, а также электрооборудование, установленное во взрывоопасных помещениях, при всех напряжениях переменного и постоянного тока. Защитное зануление — присоединение к неоднократно заземленному нулевому проводу корпусов и других конструктивных металлических частей электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но при повреждении изоляции могут оказаться под напряжением.

В электроустановках до 1000 В сечение заземляющих (зануляющих) медных или алюминиевых проводников не должно быть меньше приведенных в таблице 20.

Раз в год обязательно нужно проверять сопротивление заземляющих устройств электроустановок и удельное сопротивление грунтов измерителем типа МС-07 или МС-08, а также методом вольтметра и амперметра.

Т а б л и ц а 20. Технические данные проводников

Заземляющий или зануляющий проводник	Медь	Алюминий
Голый при открытой проводке, мм <sup>2</sup>	4	6
Изолированные провода, мм <sup>2</sup>	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами, мм <sup>2</sup>	1	1,5

#### § 4. ГРОЗОЗАЩИТА В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Атмосферные перенапряжения в электрических установках являются следствием линейной молнии. При прямом ударе молнии возникают атмосферные перенапряжения величиной в миллионы вольт, поэтому защита сельских электроустановок от атмосферных перенапряжений — большая и ответственная проблема.

Для защиты от прямого удара молнии применяют стержневые или тросовые молниеотводы, которые состоят из молниеприемников, токоотводящих спусков и заземлений. Стержневой молниеотвод представляет собой вертикальный стальной стержень любого профиля, укрепленный непосредственно на защищаемом сооружении или на отдельно стоящей опоре поблизости от него (рис. 160). Сечение молниеприемника не менее  $100 \text{ мм}^2$ . Его соединяют с заземлителем токоотводом из катанки.

Чтобы в сельской местности с одноэтажной застройкой предотвратить проникновение высоких напряжений в помещения по проводам воздушных линий, возле опор, от которых отходят вводы в жилые дома и производственные помещения, выполняют заземлители с величиной сопротивления не более  $30 \text{ Ом}$ . К ним присоединяют нулевой провод и крюки изоляторов всех проводов, в том числе радиотрансляции и телефона.

#### § 5. ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ТЕПЛИЦАХ И ПАРНИКАХ

Мобильные электрифицированные машины с кабельным питанием должны иметь устройства контроля целостности зану-

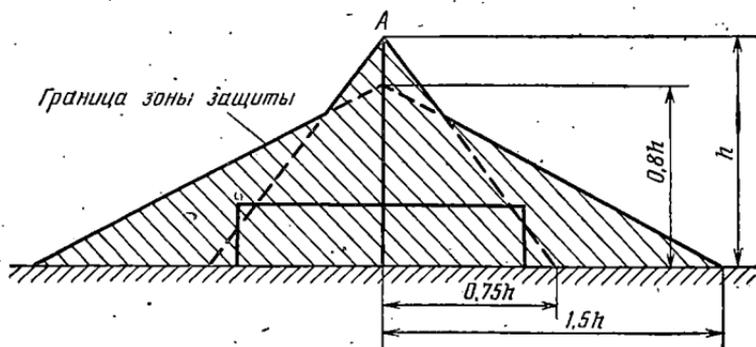


Рис. 160. Зона защиты стержневого молниеотвода.

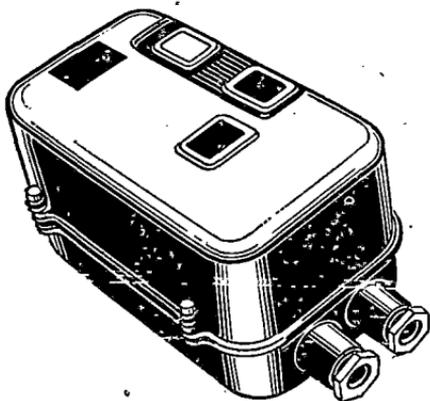


Рис. 161. Устройство защитного отключения ЗОУП-25.

ляющей жилы в питающем кабеле, а также защитное отключение по току в нулевом проводе. Здесь целесообразно использовать и аппаратуру защитного отключения типа ЗОУП-25, выпускаемую промышленностью (рис. 161).

Широко используемые в теплицах средства досвечивания и облучения, работающие на напряжении выше 36 В, должны иметь зануленные корпуса. Во время включения системы досвечивания какие-либо работы в теплице запрещены.

Перед ремонтом светильников или пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) для газоразрядных ламп типа ДРЛФ вначале отсоединяют от сети провода ввода в светильник, затем статические конденсаторы и только потом отключают ПРА от общей схемы светильника.

В парниках и теплицах при включенном обогреве допускают работы, не требующие применения инструментов, а также работы, исключаяющие погружение в почву более чем на 25 см металлической части инструментов с деревянными рукоятками.

## § 6. ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШЕМУ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

В качестве первой помощи пострадавшему нужно как можно быстрее освободить его от действия тока. Для этого необходимо отключить или отсоединить ту часть электроустановки, которой касается пострадавший. Если несчастный случай произошел в электроустановках напряжением до 400 В, то для этого, помимо операций с коммутационной аппаратурой, можно воспользоваться любыми не проводящими ток сухими предметами. Иногда быстрее перерубить провода инструментом с изолированными ручками. Все это надо делать так, чтобы пострадавший не получил травм. Далее необходимо вызвать скорую медицинскую помощь и в случае отсутствия у пострадавшего дыхания делать искус-

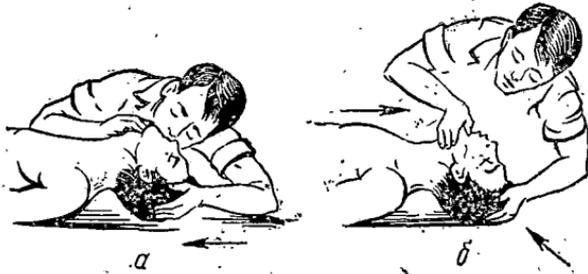


Рис. 162. Проведение приема искусственного дыхания:  
*а* — вдох;  
*б* — выдох.

ственное дыхание. Для этого расстегнуть одежду пострадавшего, стесняющую дыхание, раскрыть ему рот и удалить все, что может мешать дыханию. Существует несколько способов искусственного дыхания. Однако наиболее эффективный и доступный следующий. Пострадавшего кладут на спину, подложив под лопатки что-либо мягкое так, чтобы голова запрокинулась назад как можно больше, зажимают ему нос и, глубоко вдохнув, выдыхают воздух в рот пострадавшего. Воздух сам выходит из легких пострадавшего (рис. 162). Делая искусственное дыхание, не следует допускать охлаждения пострадавшего: не оставлять его на сырой земле, каменном, железном или бетонном полу. Искусственное дыхание прекращают после того, как пострадавший начинает дышать самостоятельно и равномерно.

Надо всегда помнить, что только своевременно организованная помощь пострадавшему может принести успех.

## § 7. ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Причин возникновения пожаров много и часто они определяются профилем предприятия, характером выпускаемой продукции. Наиболее распространенные причины пожаров на предприятиях следующие: неосторожное обращение с открытым огнем; неисправность электрооборудования и электропроводки; нарушение технологического режима при проведении работ, опасных в пожарном отношении; самовоспламенение горючих веществ.

Основная задача противопожарной техники — предотвращение пожаров или ограничение их распространения.

Возникновение пожаров из-за неисправностей электрооборудования, электрического освещения и электро-

проводки предупреждается техническими мероприятиями.

Так, например, обеспечение недоступности токоведущих частей не только гарантирует безопасность работы, но и предотвращает их соприкосновение с воспламеняющимися предметами. Плавкие предохранители и устройства защитного отключения обеспечивают сохранность аппаратуры при коротких замыканиях и пробоях изоляции установки. Применяют и специфические средства пожарной профилактики, например распределительные щиты изготавливают из негорючих материалов, электропроводку прокладывают в стальных трубах с изоляцией внутри и т. д. Проводят профилактические проверки состояния изоляции электрических установок и сетей.

Пожарная охрана на предприятии осуществляется централизованно. Постоянный контроль за состоянием средств пожаротушения и соблюдением правил пожарной безопасности возложен на пожарно-сторожевую службу. На отдельных участках за пожарную безопасность отвечают лица, выделенные руководителем предприятия. Для проверки профилактической работы и тушения пожаров организуют добровольные пожарные дружины (ДПД). На территории предприятия создают несколько пожарных постов, где имеется противопожарное оборудование: огнетушители, ведра, ящики с песком, лопаты, багры, брезент и т. д. Место расположения ближайшего пожарного поста должно быть известно всем, работающим на предприятии.

### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Какие директивные документы выпущены для обеспечения электробезопасности?
2. С какой целью заземляют нетоковедущие части электроустановок?
3. Для чего служит зануление и как его выполняют?
4. Назовите примеры защитных средств.
5. Что такое зона защиты молниеотвода и как ее определить?
6. Как освободить человека от действия электрического тока?
7. Расскажите о методах искусственного дыхания.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>Раздел первый Основы электротехники</i>	
<i>Глава I. Электрические цепи постоянного тока</i> . . . . .	5
§ 1. Электрический заряд . . . . .	5
§ 2. Электрическое поле . . . . .	6
§ 3. Электрический ток . . . . .	9
§ 4. Электрическая цепь и ее основные элементы . . . . .	10
§ 5. Электродвижущая сила . . . . .	11
§ 6. Электрическое сопротивление и проводимость . . . . .	12
§ 7. Закон Ома . . . . .	14
§ 8. Зависимость между электродвижущей силой и напряжением генератора . . . . .	15
§ 9. Работа и мощность . . . . .	16
§ 10. Преобразование электрической энергии в тепловую . . . . .	18
§ 11. Выбор сечений проводов по условиям нагрева . . . . .	18
§ 12. Расчет сечений проводов по заданной потере напряжения . . . . .	19
§ 13. Соединение потребителей электрической энергии . . . . .	20
§ 14. Законы Кирхгофа . . . . .	22
§ 15. Способы соединения химических источников электрической энергии . . . . .	25
Лабораторная работа I . . . . .	27
Контрольные вопросы и задания . . . . .	28
<i>Глава II. Электромагнетизм</i> . . . . .	29
§ 1. Магнитное поле и его характеристика . . . . .	29
§ 2. Намагничивание ферромагнитных материалов . . . . .	32
§ 3. Магнитный гистерезис . . . . .	34
§ 4. Действие магнитного поля на проводник с током и движущийся электрический заряд . . . . .	36
§ 5. Электромагнитная индукция . . . . .	37
§ 6. Самоиндукция и взаимоиנדукция . . . . .	38
§ 7. Преобразование механической энергии в электрическую . . . . .	40
§ 8. Преобразование электрической энергии в механическую . . . . .	41
§ 9. Вихревые токи . . . . .	42
Контрольные вопросы и задания . . . . .	43
<i>Глава III. Электрические цепи однофазного переменного тока</i> . . . . .	44
§ 1. Основные понятия и определения . . . . .	44
§ 2. Графическое изображение синусоидально изменяющихся величин . . . . .	48
§ 3. Цепь переменного тока с активным сопротивлением . . . . .	49
§ 4. Цепь переменного тока с индуктивным сопротивлением . . . . .	51
§ 5. Цепь переменного тока с активным и индуктивным сопротивлением . . . . .	55
§ 6. Цепь переменного тока с емкостным сопротивлением . . . . .	59

§ 7. Цепь переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений . . .	62
§ 8. Цепь переменного тока с параллельным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений . . .	65
Лабораторная работа 2 . . . . .	68
Лабораторная работа 3 . . . . .	69
Контрольные вопросы и задания . . . . .	70
Глава IV. <i>Трехфазные цепи</i> . . . . .	70
Лабораторная работа 4 . . . . .	74
Лабораторная работа 5 . . . . .	75
Контрольные вопросы и задания . . . . .	77
Глава V. <i>Электрические измерения и приборы</i> . . . . .	77
§ 1. Понятие об измерении, мере и измерительном приборе . . .	77
§ 2. Понятие о погрешностях и классах точности . . . . .	78
§ 3. Общие свойства приборов и система их обозначений . . .	80
§ 4. Системы приборов . . . . .	81
§ 5. Приборы для измерения неэлектрических величин . . . . .	89
Лабораторная работа 6 . . . . .	92
Контрольные вопросы и задания . . . . .	93
Глава VI. <i>Электрические машины постоянного тока</i> . . . . .	93
§ 1. Принцип действия и устройство машин постоянного тока . .	93
§ 2. Классификация генераторов постоянного тока . . . . .	99
§ 3. Электродвигатели постоянного тока . . . . .	100
Лабораторная работа 7 . . . . .	102
Контрольные вопросы и задания . . . . .	103
Глава VII. <i>Трансформаторы</i> . . . . .	103
§ 1. Назначение, устройство и принцип работы трансформатора . . . . .	103
§ 2. Однофазные трансформаторы . . . . .	106
§ 3. Трехфазные трансформаторы . . . . .	106
§ 4. Специальные трансформаторы . . . . .	109
Лабораторная работа 8 . . . . .	111
Контрольные вопросы и задания . . . . .	111
Глава VIII. <i>Электрические машины переменного тока</i> . . . . .	112
§ 1. Общие сведения . . . . .	112
§ 2. Устройство асинхронного электродвигателя . . . . .	112
§ 3. Получение вращающегося магнитного поля статора . . . . .	115
§ 4. Принцип работы трехфазного асинхронного электродвигателя . . . . .	117
§ 5. Вращающий момент асинхронного электродвигателя . . . . .	118
§ 6. Зависимость вращающего момента от скольжения . . . . .	119
§ 7. Пуск в ход асинхронных электродвигателей . . . . .	121
§ 8. Регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей . . . . .	123
§ 9. Коэффициент мощности и к. п. д. трехфазного асинхронного электродвигателя . . . . .	123
§ 10. Электродвигатели серий А2, АО2 и 4А . . . . .	125
§ 11. Специальные асинхронные электродвигатели сельскохозяйственного назначения . . . . .	126

§ 12. Однофазные асинхронные электродвигатели . . . . .	128
§ 13. Понятие о синхронных электродвигателях . . . . .	129
§ 14. Генераторы переменного тока, устанавливаемые на тракторах . . . . .	131
Лабораторная работа 9 . . . . .	132
Контрольные вопросы и задания . . . . .	132
<b>Глава IX. Полупроводниковые приборы</b> . . . . .	132
§ 1. Общие понятия . . . . .	132
§ 2. Полупроводниковые диоды . . . . .	134
§ 3. Полупроводниковые триоды (транзисторы) . . . . .	137
§ 4. Тиристоры . . . . .	140
Лабораторная работа 10 . . . . .	142
Контрольные вопросы и задания . . . . .	142
<b>Раздел второй. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве</b>	
<b>Глава X. Производство, передача и распределение электрической энергии</b> . . . . .	143
§ 1. Общие сведения . . . . .	143
§ 2. Современные способы получения электрической энергии . . . . .	145
§ 3. Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей . . . . .	146
§ 4. Трансформаторные подстанции . . . . .	148
§ 5. Электрические линии высокого и низкого напряжения . . . . .	150
§ 6. Внутренние электропроводки . . . . .	151
§ 7. Потребление и оплата электроэнергии . . . . .	154
Контрольные вопросы и задания . . . . .	155
<b>Глава XI. Аппараты автоматического управления электроустановками в сельском хозяйстве</b> . . . . .	155
§ 1. Основные понятия и принципы автоматического управления . . . . .	155
§ 2. Экономическая эффективность автоматизации сельскохозяйственного производства . . . . .	158
§ 3. Датчики и реле неэлектрических величин . . . . .	150
§ 4. Конечные, путевые выключатели и микропереключатели . . . . .	163
§ 5. Кнопки управления и универсальные переключатели . . . . .	164
§ 6. Электромагнитные (промежуточные) реле . . . . .	165
§ 7. Реле времени и программные устройства . . . . .	167
§ 8. Полупроводниковые логические элементы . . . . .	170
§ 9. Контактные, магнитные пускатели . . . . .	172
§ 10. Предохранители . . . . .	175
§ 11. Тепловые реле . . . . .	178
§ 12. Автоматические выключатели . . . . .	179
Лабораторная работа 11 . . . . .	181
Контрольные вопросы и задания . . . . .	181
<b>Глава XII. Осветительные и облучающие установки, их автоматизация</b> . . . . .	182
§ 1. Оптическое излучение и единицы измерения . . . . .	182
§ 2. Источники оптического излучения . . . . .	184
§ 3. Осветительные и облучающие установки . . . . .	191
§ 4. Правила и нормы электрического освещения. Виды и системы освещения . . . . .	194
§ 5. Управление осветительными и облучающими установками . . . . .	198

§ 6. Экономическая эффективность использования осветительных и облучающих установок. Правила безопасности труда	201
Лабораторная работа 12	202
Контрольные вопросы и задания	202
Глава XIII. <i>Электропривод сельскохозяйственных машин и оборудования</i>	203
§ 1. Понятие об электроприводе	203
§ 2. Режимы работы электродвигателей	204
§ 3. Нагрев и охлаждение электродвигателей	205
§ 4. Выбор электродвигателей, аппаратуры управления и защиты для привода сельскохозяйственных машин и механизмов	206
§ 5. Монтаж электродвигателей и уход за ними	209
Лабораторная работа 13	212
Контрольные вопросы и задания	212
Глава XIV. <i>Электрооборудование для установок в растениеводстве</i>	213
§ 1. Электрооборудование машин для послеуборочной обработки зерна	213
§ 2. Электроустановки для досушивания сена	220
§ 3. Электрооборудование картофелехранилищ и фруктохранилищ	223
§ 4. Электрооборудование насосных станций орошения	227
§ 5. Электроизгороди	228
§ 6. Электрификация полевых мобильных процессов	229
Контрольные вопросы и задания	230
Глава XV. <i>Электрификация защищенного грунта</i>	230
§ 1. Общие сведения	230
§ 2. Автоматическое управление основными технологическими процессами в теплицах	231
§ 3. Электрооборудование теплиц	232
§ 4. Обогрев парников и теплиц при помощи электрокалориферов	241
§ 5. Почвенный электрообогрев парников	242
§ 6. Электрифицированные машины и орудия для защищенного грунта	243
Контрольные вопросы и задания	244
Глава XVI. <i>Меры безопасности труда при использовании электроустановок</i>	244
§ 1. Основные сведения по охране и мерам безопасности труда	244
§ 2. Опасность поражения электрическим током	246
§ 3. Мероприятия по мерам безопасности труда	246
§ 4. Грозозащита в сельских электроустановках	248
§ 5. Обслуживание электроустановок в теплицах и парниках	249
§ 6. Первая помощь пострадавшему от электрического тока	250
§ 7. Противопожарная техника на предприятии	251
Контрольные вопросы и задания	252