

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1 Трансформаторы

Ранее переменный ток применялся для освещения, так как двигатели однофазного переменного тока не удовлетворяли требованиям промышленного электропривода. Значительным толчком к внедрению и распределению энергии переменного тока явилось изобретение П.Н. Яблочковым электрической свечи и разработанная им схема дробления электроэнергии посредством индукционных катушек, представляющих собой трансформатор с разомкнутой магнитной системой.

В середине 80(х) годов XIX столетия инженерами венгерской фирмы “Ганс и К” О.Блати, М.Дери, К.Циперновским были созданы промышленные типы однофазных трансформаторов с замкнутой магнитной системой, которые ввели термин “трансформатор”. Большой вклад в разработку многофазных, в частности трехфазных цепей, машин и трансформаторов (конец 80(х) годов, начало 90(х) годов XIX столетия) внесли М.О.Доливо-Добровольский, Н.Тесла.

При использовании электрической энергии часто требуется преобразовать величины напряжения и тока при постоянной мощности.

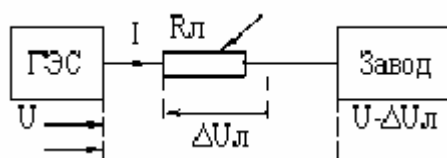


Рисунок 1.1 - Передача электрической энергии на расстояние

Эта проблема в настоящее время решена только для переменного тока с созданием специального электромагнитного аппарата, который называется трансформатором.

Трансформатором называется электромагнитный аппарат, который с помощью магнитного поля преобразует электрическую энергию одного напряжения и тока в электрическую энергию другого напряжения и тока при сохранении постоянной частоты и мощности.

Трансформатор работает на принципе частного случая закона электромагнитной индукции (на законе взаимной индукции). Трансформатор не изменяет формы энергии, он лишь преобразует ее компоненты (U и I).

Трансформаторы делятся на два класса: 1) **воздушные**, у них нет сердечника; 2) **со стальным сердечником**. Первые применяются в высокочастотной технике (высокочастотная закалка, сушка). Вторые - в низкочастотной силовой промышленной технике.

В простейшем случае трансформатор можно представить следующим образом (рисунок 1.2).

Это обмотка, присоединенная к источнику энергии, которая называется **первичной** или **сетевой** или **входной** обмоткой трансформатора со своими параметрами: U_1, I_1, W_1, E_1 - первичными напряжением, током, числом витков и ЭДС.

Обмотка, присоединенная к нагрузке, называется **вторичной** обмоткой трансформатора, а U_2, I_2, W_2, E_2 - вторичными напряжением, током, числом витков, ЭДС. Первичная и вторичная обмотки изолированы друг от друга и насажены на общий, набранный из листов электротехнической стали магнитопровод (сердечник). Энергия, поступившая от источника в первичную обмотку, передается во вторичную только переменным магнитным потоком. Чтобы полнее передать этот магнитный поток из первичной катушки во вторичную и применяют

магнитопровод, который направляет почти полностью магнитный поток, созданный первичной катушкой, во вторичную.

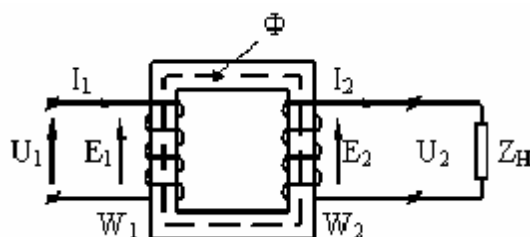


Рисунок 1.2 - Схема простейшего трансформатора

Величина ЭДС, индуцируемая в каждой обмотке, определяется на основании закона электромагнитной индукции. Мгновенное значение ЭДС, индуцируемой в первичной обмотке трансформатора, запишется:

$$e_1 = -\frac{W_1 d\Phi}{dt}, \text{ а вторичной обмотки - } e_2 = -\frac{W_2 d\Phi}{dt}. \quad (1.1)$$

Если напряжение, подводимое к первичной обмотке, синусоидально, то и ток и магнитный поток тоже будут синусоидальны:

$$i = I_m \sin \omega t; \quad (1.2)$$

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t. \quad (1.3)$$

Максимальные значения ЭДС равны:

$$\begin{aligned} E_{m1} &= W_1 \omega \Phi_m = W_1 2\pi f \Phi_m; \\ E_{m2} &= W_2 \omega \Phi_m = W_2 2\pi f \Phi_m. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Разделив амплитуду ЭДС обмоток на $\sqrt{2}$, получим действующие значения ЭДС, индуцируемые в обмотках трансформатора:

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{E_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{W_1 2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 W_1 f \Phi_m; \\ E_2 &= \frac{E_{m2}}{\sqrt{2}} = \frac{W_2 2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 W_2 f \Phi_m. \end{aligned} \quad (1.5)$$

В идеализированном трансформаторе (это трансформатор, в котором отсутствуют электрические и магнитные потери) имеют место следующие соотношения:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K_{12} = \text{const} \quad (1.6)$$

Выражение (1.6) определяет **коэффициент трансформации трансформатора** и имеет место только в идеальном трансформаторе, в реальном трансформаторе эти соотношения несколько нарушаются. Однако при значениях, близких к номинальным, эти отклонения незначительны.

Коэффициентом трансформации трансформатора K_{12} называется отношение витков обмотки высокого напряжения к виткам обмотки низкого напряжения или напряжений U_1 и U_2 при холостом ходе трансформатора. При $K_{12} > 1$ трансформатор является понижающим, при $K_{12} < 1$ трансформатор будет повышающим.

Трансформатор может работать в любом режиме, который расположен между двумя крайними, называемыми режимом **холостого хода** и режимом **короткого замыкания**.

Холостым ходом трансформатора называют такой режим работы, при котором вторичная обмотка разомкнута или замкнута на сопротивлении бесконечно большой величины. Ток во вторичной обмотке равен нулю. Магнитный поток создается первичной катушкой и называется магнитным потоком холостого хода. Ток первичной катушки при холостом ходе называется током холостого хода трансформатора $I_0 = I_{10\%}$.

Коротким замыканием трансформатора называется такой режим работы, при котором вторичная обмотка замкнута на сопротивлении, равном 0.

Напряжение во вторичной цепи $U_{2кз} = R_{H/2кз} = 0$.

Широкое использование в современной электрификации трехфазной системы токов потребовало трансформации напряжения этой системы. Создание трехфазных трансформаторов относится к периоду 1881-1891 г. Первые промышленные образцы созданы выдающимся русским электротехником М.О. Доливо-Добровольским.

Трансформирование энергии трехфазной системы токов можно производить двумя различными трансформаторами:

- **групповым**, состоящим из трех однофазных трансформаторов;
- **специальным трансформатором** с общей трехфазной стержневой магнитной цепью.

Трансформация группой трансформаторов представлена на рисунке 4.3.

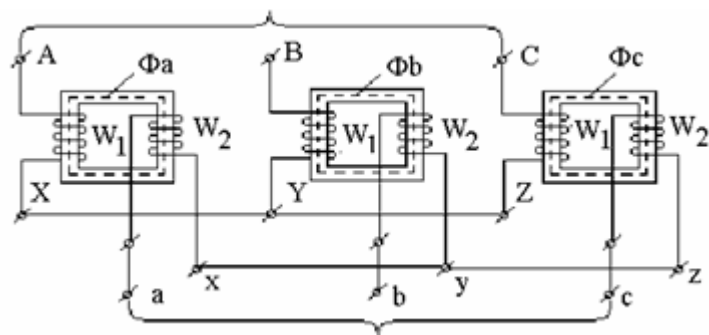


Рисунок 1.3 - Групповой трехфазный трансформатор

Коэффициент трансформации запишется так же, как и для двухобмоточного трансформатора:

$$K_{12} = W_1/W_2 \quad (1.7)$$

Магнитные потоки каждой фазы замыкаются по отдельным магнитопроводам, причем они не связаны между собой. В результате на практике они применяются при трансформации особо больших мощностей, когда один трансформатор на общую мощность выполнить невозможно по габаритным условиям железной дороги. Такой способ в обычной практике применяется крайне редко.

К достоинствам этого трансформатора можно отнести:

- работа строго симметрично;
- высокая ремонтная способность (одна фаза ремонтируется);
- легко доставляется до места назначения (пофазная транспортировка).

К недостаткам группового трансформатора надо отнести следующее: - большую площадь (большие габариты);

- высокая стоимость изготовления;
- установка только на открытой части электрических станций и подстанций.

Схема специального трехфазного трансформатора представлена на рисунке 1.4.

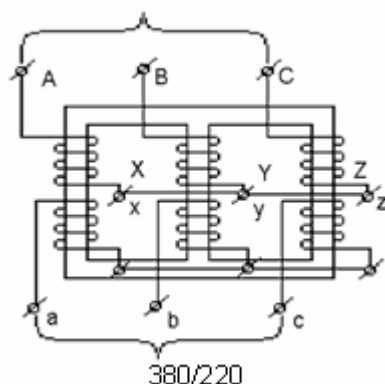


Рисунок 1.4 - Специальный трехфазный трансформатор

Данный трансформатор выполняется на одном магнитопроводе. В этом случае магнитные потоки фаз связаны между собой единым магнитопроводом, благодаря чему трансформатор получается не совсем симметричным, что в некоторой степени может отражаться на потребителях электроэнергии.

Достоинствами специального трехфазного трансформатора по сравнению с групповым являются малые габариты, дешевизна изготовления. К недостаткам его относятся несимметричность работы, сложность ремонта и доставки до места назначения. Специальные трехфазные трансформаторы устанавливаются как на открытой, так и в закрытой части электрических станций и подстанций.

Всякий двухобмоточный трехфазный трансформатор имеет 12 концов, которые могут соединяться в разные комбинации.

Наиболее часто используются следующие схемы соединения обмоток, которые определяют различные группы соединения трансформаторов:

- 1) Y/Y_0 ----- 0
- 2) Y/Δ ----- 11; 5
- 3) Δ/Y ----- 11; 5
- 4) Δ/Δ ----- 2; 4; 6; 8; 10; 12.

В числителе показана схема соединения трехфазной высоковольтной обмотки, а в знаменателе - схема соединения трехфазной низковольтной обмотки. Цифра обозначает группу соединения обмоток трансформатора.

В России чаще всего используются только первые две схемы соединения трансформаторов.

Условимся считать, что стрелка, проведенная из центра тяжести системы векторов на циферблате часов до конца одного из векторов линейного напряжения (например, фазы А) обмотки высокого напряжения (ВН), изображает минутную стрелку, установленную всегда на 12 часов.

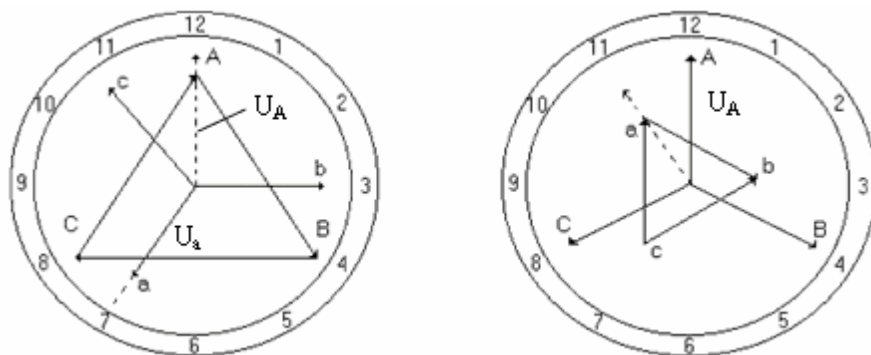


Рисунок 1.5 - Пояснение к группе соединения обмоток

И если при этом малая (часовая) стрелка, проведенная из центра тяжести а, принятая за вектор линейного напряжения низковольтной обмотки фазы А покажет 7 часов, то она покажет группу соединения обмоток 7.

Различные схемы соединения трехфазных трансформаторов, отличающиеся условием сдвига фазы между первичными и вторичными линейными ЭДС (напряжениями), получили название **группы соединения**.

При передаче и распределении электрической энергии на расстояния в линиях электропередачи (ЛЭП) возникают разные падения напряжения. Это приводит к тому, что на высокой стороне трансформаторов, установленных на подстанциях, будут различные напряжения (рисунок 1.6). А потребителям электрической энергии необходимо стандартное напряжение (например, 380/220В), где бы трансформатор ни располагался. Это требует регулировки напряжения на трансформаторах, устанавливаемых на подстанциях.

Для этого у трансформаторов на высокой обмотке делаются дополнительные выводы, которые позволяют изменять напряжение трансформатора $VH \pm 5\% U_{ном}$. Пересоединение выводов производится специальным переключателем (анцапфой), закрепленным на крышке бака трансформатора, который может устанавливаться в различных положениях.



Рисунок 1.6 - Пояснение к регулированию напряжения на трансформаторе

Например:

1. ABC/abc 6300/400 В
2. A₁B₁C₁/abc 6000/400 В
3. A₂B₂C₂/abc 5700/400 В

Как видно из схемы, несмотря на различные падения напряжения в линии, благодаря отпайкам, мы имеем номинальное напряжение на всем протяжении линии электропередач (у потребителей).

Во многих случаях приходится включать несколько трансформаторов параллельно, подключая их первичные обмотки к общей питающей сети, а вторичные к общей сети потребителя.

Такой случай может быть при увеличении нагрузки, при резком колебании нагрузки, когда при уменьшении нагрузки отключают излишние трансформаторы, при увеличении мощности подстанции; при обеспечении непрерывности потребления электрической энергии (один ремонтируется или находится на профилактике) и т.д.

Трансформаторы могут включаться на параллельную работу, но для этого необходимо соблюдать определенные условия:

- напряжения первичной обмотки U_1 и вторичной обмотки U_2 у обоих трансформаторов должны быть равны; коэффициенты трансформации $K_{тр1} = K_{тр2}$; отклонение допускается $\pm 0,5$

% от $K_{\text{тр включенного}}$;

- чередование фаз одного трансформатора должно совпадать с фазами другого трансформатора;
- трансформаторы должны иметь одинаковые группы соединения;
- желательно, чтобы мощности трансформаторов не отличались более чем 3/1 или 1/3;
- падения напряжения короткого замыкания трансформаторов должны быть одинаковы, $\Delta U_{\text{кзтр1}} = \Delta U_{\text{кзтр2}}$ ($\pm 10\%$ от включенного).

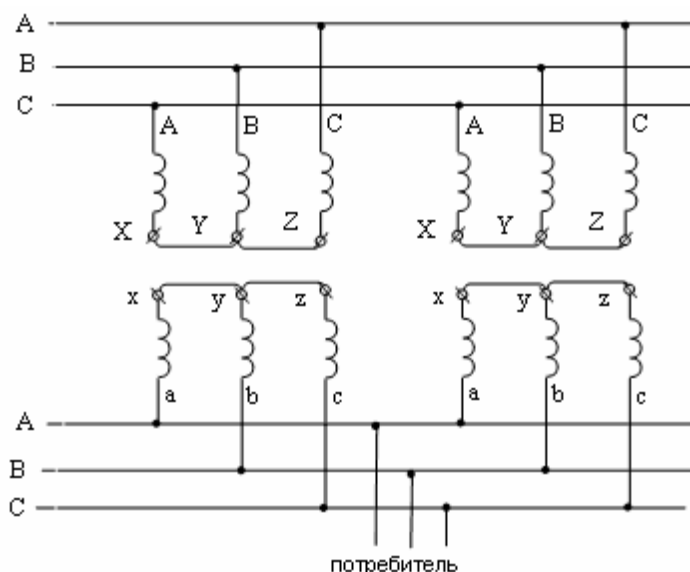


Рисунок 1.7 - Пояснение к параллельной работе трансформаторов

При соблюдении этих условий трансформаторы можно включать на параллельную работу.

Опыт показывает, что для преобразования электрической энергии по току и напряжению в принципе нет необходимости иметь две катушки. Трансформацию с одной катушкой называют **автотрансформацией**, а трансформаторы - **автотрансформаторами**.

$E_1/E_2 = W_1/W_2 = K_{\text{мп}}$, а при разомкнутых клеммах $U_1/U_2 = K_{\text{мп}}$.

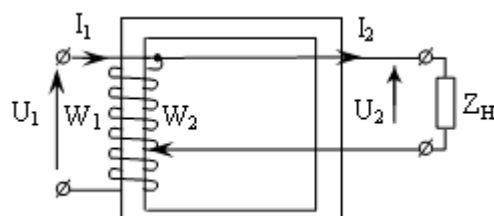


Рисунок 1.8 - Автотрансформатор

Так как в первичной и во вторичной обмотках токи текут в противоположные стороны, то в

общей части обмотки ток будет небольшим. Поэтому эту часть обмотки можно выполнить из провода меньшего сечения $I_p = I_1 - I_2$.

С помощью автотрансформатора можно плавно менять выходное напряжение $U_2 = (0 \div 250\text{В})$. Применять автотрансформатор выгодно только при небольших коэффициентах трансформации $K_{\text{тр}}$.

Для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов на переменном токе и для безопасной работы применяются специальные трансформаторы, которые называются **измерительными**. Измерительные трансформаторы бывают двух видов: **трансформаторы тока** (ТТ) и **трансформаторы напряжения** (ТН).

Трансформатор тока служит для подключения амперметров, токовых обмоток ваттметров и электрических счетчиков, а также для подключения различных реле и других приборов.

Трансформатор тока (рисунок 1.9) представляет собой, в простейшем случае, двухобмоточный трансформатор с замкнутым ферромагнитным сердечником. Первичная обмотка W_1 , обычно с меньшим числом витков, включается в рассечку провода с измеряемым током. К вторичной обмотке W_2 с большим числом витков подключается амперметр и соединенные с ним последовательно токовые обмотки счетчиков, ваттметров и т. д.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала вторичная обмотка трансформатора тока, включаемого в высоковольтную сеть, должна быть заземлена. При отсутствии заземления, в случае повреждения изоляции первичной обмотки, вторичная обмотка, следовательно, и подключенные к ней приборы могут оказаться под высоким потенциалом относительно земли.

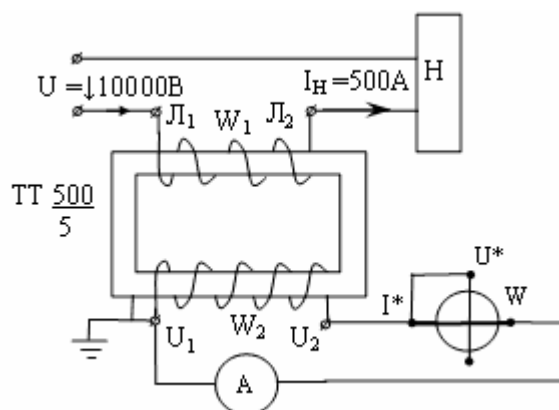


Рисунок 1.9 - Принципиальная схема трансформатора тока

Так как сопротивление токовых обмоток, включаемых во вторичную цепь приборов, невелико, то в отличие от обычных силовых трансформаторов, трансформаторы тока работают в режиме, близком к **режиму короткого замыкания**. Величина допустимой нагрузки трансформаторов тока (сопротивление приборов и проводов, включенных во вторичную цепь) обычно указывается на щитке трансформатора. Каждый трансформатор тока, в первую очередь, характеризуется номинальными значениями первичного $I_{1н}$ и вторичного $I_{2н}$ токов. Номинальные значения токов стандартизованы. Для токов $I_{2н}$ установлены следующие значения: $I_{2н} = 5\text{ А}$ и $I_{2н} = 1\text{ А}$. Отношение номинального значения первичного тока к номинальному значению вторичного тока называется **номинальным коэффициентом трансформации** $K_{\text{нт}}$ трансформатора тока.

Трансформатор напряжения служит для подключения вольтметров, обмоток напряжения

ваттметров и электрических счетчиков энергии, а также для подключения различного рода реле и других приборов.

Измерительный трансформатор напряжения, так же как и трансформатор тока, в простейшем случае представляет собой двухобмоточный трансформатор с замкнутым ферромагнитным сердечником (рисунок 1.10).

Первичная обмотка W_1 присоединяется к измеряемому напряжению U_1 , а к вторичной обмотке W_2 подключается вольтметр и включаемые параллельно вольтметру цепи напряжения ваттметров, счетчиков и других приборов.

Трансформатор напряжения работает в режиме близком к режиму холостого хода, так как сопротивление приборов, включаемых в его вторичную цепь, достаточно велико.

Номинальные значения первичных U_{1H} и вторичных U_{2H} напряжений трансформатора напряжения стандартизованы. В соответствии с ГОСТом на стационарные трансформаторы и лабораторные трансформаторы установлены следующие значения напряжения U_{2H} : 100 В и $\frac{100}{\sqrt{3}}$ В. Отношение номинального первичного напряжения U_{1H} к номинальному вторичному U_{2H} называется **номинальным коэффициентом трансформации**

$$K_{UH} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}} \quad (1.8)$$

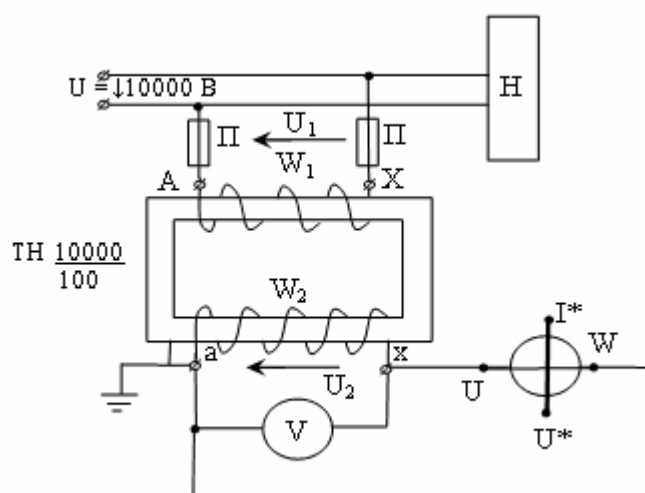


Рисунок 1.10 - Принципиальная схема трансформатора напряжения

Режим короткого замыкания является для трансформаторов напряжения **аварийным режимом**, так как в этом случае происходит сильный нагрев обмоток, вследствие чего трансформатор выходит из строя. Для защиты трансформатора от короткого замыкания и перегрузок во вторичной цепи, а также для предотвращения нарушения режима работы сети при возможном замыкании вводов или обмотки первичной цепи трансформаторы напряжения снабжаются предохранителями. Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала вторичная обмотка трансформаторов напряжения, так же как и вторичная обмотка трансформаторов тока, включаемых в высоковольтную сеть, должна быть заземлена.

2 Асинхронные двигатели

Асинхронные двигатели благодаря своей простоте, надежности в работе и низкой стоимости получили самое широкое применение в технике всех стран. Асинхронный двигатель рассчитан и сконструирован в начале 90-х годов XIX-го столетия. Активное участие в разработке теории и конструкции двигателя принимал русский электротехник М.О. Доливо-Добровольский. Асинхронный двигатель и до настоящего времени сохранил ту простую форму, которую ему придал талантливый русский изобретатель.

Все электрические машины являются обратимыми машинами. Если электрическая энергия внутри машины преобразуется в механическую, то мы имеем **двигатель**, если же механическая энергия преобразуется в электрическую - **генератор**.

Устройство асинхронного двигателя основано на принципе воздействия **вращающегося магнитного поля статора** на короткозамкнутый виток - **ротор**. Асинхронный двигатель состоит в основном из 2(-х) частей - **статора** и **ротора**.

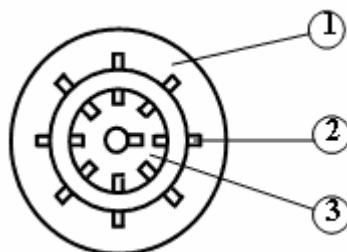


Рисунок 2.1 - Асинхронный двигатель

Статор 1 представляет собой пустотелый цилиндр, собранный из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. На внутренней поверхности цилиндра выштампованы канавки - пазы. Пазы статора 2 нужны для укладки статорной обмотки, которая, питаясь от трехфазной системы тока, создает внутри в воздушном зазоре вращающееся магнитное поле. Ротор 3 представляет собой подвижный цилиндр, набранный из листов электротехнической стали, также изолированных друг от друга. На нем прорезаются канавки - пазы ротора для укладки 3(-х) фазной обмотки.

Между ротором и статором имеется воздушный промежуток - воздушный зазор, величина которого равна $\Delta = (0,3 \div 4,0) \text{ мм}$. Энергия, поступающая из сети в статор двигателя, передается через воздушный зазор магнитным потоком в ротор. В связи с этим желательно воздушный зазор делать как можно меньшим. Частота вращения, с которой вращается поле статора, называется синхронной и обозначается n_1 . Частота вращения, с которой вращается ротор (вал двигателя), называется асинхронной и обозначается n_2 .

Принято колебания по частоте вращения двигателя в зависимости от нагрузки оценивать величиной **S**, которая называется **скольжением** и записывается:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Скольжение является весьма важной характеристикой двигателя, для разных двигателей оно разное:

$S = 4\%$ для малых двигателей;

$S = (1,5 \div 2)\%$ для больших двигателей;

$$S_{ном} = 5\% \text{ (номинальное, расчетное).}$$

Скольжение оценивает отставание ротора от поля статора.

По конструкции асинхронные двигателя подразделяются на два вида: короткозамкнутые и с фазным ротором или с контактными кольцами.

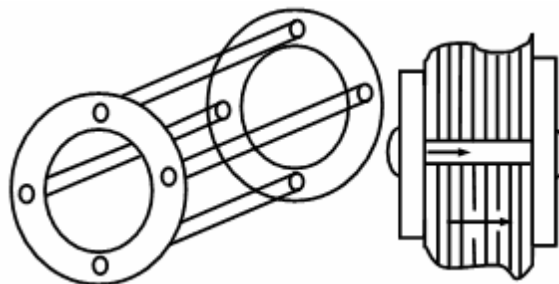


Рисунок 2.2 - Ротор короткозамкнутого двигателя

Двигатели с короткозамкнутым ротором и **двигатели с фазным ротором** отличаются друг от друга устройством ротора. Обмотка ротора короткозамкнутого двигателя представляет собой беличье колесо. Здесь в каждый паз укладывается по одному голому медному стержню без изоляции. Все концы проводников закорачиваются с двух сторон медными или алюминиевыми шайбами.

В современных двигателях беличья клетка образуется путем отливки. В качестве материала берется алюминий. **Основной недостаток двигателей с короткозамкнутым ротором** это невозможность изменять активное сопротивление обмотки ротора. В связи с этим такие двигатели не регулируют обороты, имеют значительный пусковой ток и малый пусковой момент. **Положительные качества** - высокая механическая и электрическая прочность, простота и надежность конструкции, малая стоимость.

У **двигателей с фазным ротором** в пазы ротора укладывается трехфазная обмотка, выполненная из провода с изоляцией. Три конца обмотки соединяются в звезду, а три выводятся к кольцам, насаженным на вал ротора и изолированным друг от друга и от вала по схеме, приведенной на рисунке 2.3.

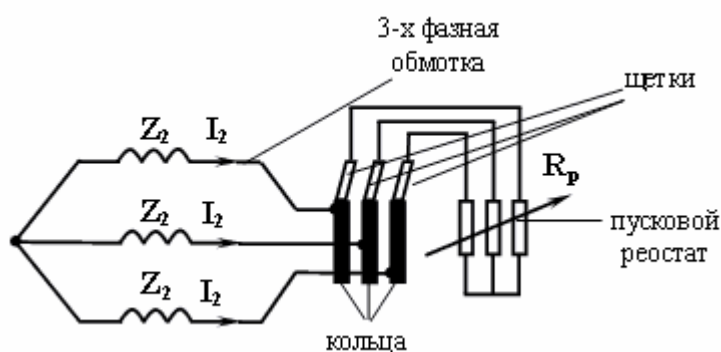


Рисунок 2.3 - Электрическая схема фазного ротора (с контактными кольцами)

3 Синхронные машины

Синхронные машины применяются, как в качестве генераторов трехфазной системы токов, так и в качестве двигателей. Статор синхронного генератора трехфазной системы тока устроен так же, как и у асинхронного двигателя. Обмотка его выполняется со сдвигом на 120 аналогично обмотке асинхронного двигателя.

Ротор генератора существенно отличается от ротора асинхронного двигателя. Он представляет собой электромагнит, питаемый постоянным током. Роторы синхронного генератора выполняются двух видов:

1) С явно выраженными полюсами - тихоходные генераторы, работают совместно с водяными турбинами или двигателями внутреннего сгорания.

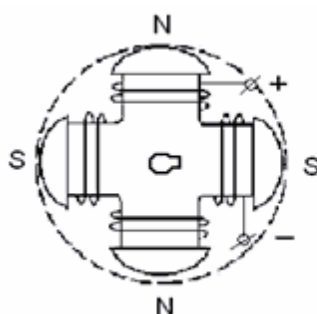


Рисунок 3.1 - Ротор с явно выраженными полюсами

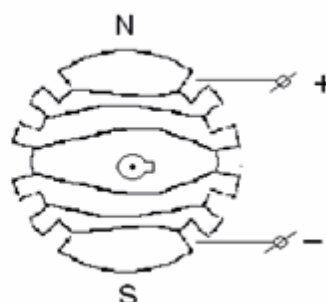


Рисунок 3.2 - Ротор с неявно выраженными полюсами

2) С неявно выраженными полюсами - быстроходные генераторы (1500-3000) об/мин, работающие совместно с паровыми турбинами - турбогенераторы. При вращении ротора (магнитного поля) в каждой фазе (обмотке) статора по закону электромагнитной индукции будут наводиться ЭДС, изменяющиеся по синусоиде и сдвинутые на 120.

Постоянный ток, питающий обмотку ротора, называется **током возбуждения**, а сама обмотка ротора называется **обмоткой возбуждения генератора**. Она называется так потому, что в ней возбуждается магнитный поток машины Φ . Постоянный ток возбуждения подводится к обмоткам электромагнитов ротора через два изолированных друг от друга и от вала машины кольца, через щетки, скользящие по кольцам.

Синхронные двигатели по устройству и принципу работы не отличаются от синхронного генератора. Трехфазная обмотка статора двигателя питается от трехфазной сети. Обмотка возбуждения, находящаяся на роторе, питается от источника постоянного тока. Работа двигателя основана на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с постоянным магнитным полем ротора. Поле статора, как и у асинхронного двигателя, имеет частоту вращения

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$

(3.1)

Взаимодействие магнитных полей статора и ротора имеет место при одинаковых скоростях вращения этих полей.

Для того чтобы магнитное поле ротора n_2 вращалось со скоростью равной полю статора $n_2 = n_1$, необходимо ротор двигателя предварительно привести во вращение. Таким образом, при пуске синхронного двигателя возникает задача доведения скорости вращения ротора от 0

до $n = n_{ном} = n_1$.

На практике используются три способа пуска: 1) пуск с помощью разгонного двигателя; 2) асинхронный пуск; 3) частотный пуск.

Синхронные двигатели по конструкции и эксплуатации сложнее, а по стоимости дороже асинхронных. Однако, асинхронный двигатель для создания вращающегося магнитного поля потребляет из сети реактивную мощность, в то время как синхронный может не только потреблять, но даже генерировать реактивную мощность в сеть, работая с коэффициентом мощности $\cos\varphi = 0,8 \div 0,9$ опережающим (емкостным).

Если синхронный двигатель работает при неизменном значении момента на валу, то его активная мощность, потребляемая из сети, также неизменна, а, следовательно, активная составляющая тока статора тоже не меняется. При постоянном напряжении на зажимах двигателя:

$$P_1 = \text{const} = \sqrt{3}UI \cos \varphi = \sqrt{3}UI_*, \quad (3.2)$$

где $I_* = \text{const}$ - активная составляющая тока статора.

Когда двигатель работает в таком режиме, регулирование тока возбуждения будет вызывать изменение тока статора и коэффициента мощности двигателя.

Таким образом, сравнивая синхронный двигатель с асинхронным, необходимо отметить следующие достоинства и недостатки. **Недостатки:** конструктивно сложнее, менее надежен в эксплуатации и дороже; не обладает самозапуском; требует два источника питания (трехфазный и источник постоянного тока). **Достоинства:** имеет сверхжесткую механическую характеристику; работает при $\cos\varphi = 1,0$.

Синхронные и асинхронные двигатели следует сравнивать с учетом не только первоначальной стоимости, но и эксплуатационных затрат. Учитывая все вышесказанное, следует отметить, что синхронный двигатель с $\cos\varphi = 1,0$ по своей стоимости и потерям энергии обычно имеет преимущество перед асинхронным, снабженным конденсаторными батареями для компенсации коэффициента мощности до $\cos\varphi = 1,0$. Синхронные двигатели выпускаются в основном большой мощностью, начиная с 55 кВт до 1000 кВт и более. В диапазоне от 1 до 100 кВт синхронный двигатель не выдерживает конкуренцию асинхронного двигателя.

Если синхронный двигатель, работающий вхолостую ($M_2 = 0$) перевозбудить, то он начинает вырабатывать реактивно-емкостную энергию (работает в режиме конденсатора). Такой двигатель называют **синхронным компенсатором**. Синхронные компенсаторы применяют для повышения коэффициента мощности. Выпускаются по мощности от 1 до 75 тыс. кВт и более, потребление активной мощности при этом составляет $P_a = (1,3 \div 1,5)\%$ от $P_{ном}$ двигателя.

4 Машины постоянного тока

Машины постоянного тока начали использоваться значительно раньше машин переменного тока. Однако в настоящее время они оттеснены с первого места асинхронными двигателями. Это объясняется рядом обстоятельств, в том числе сложностью устройства машины постоянного тока, меньшей надежностью, искрообразованием на коллекторе. И все же машины постоянного тока не утратили своего значения в современной технике. Сейчас они используются в основном:

- 1) как регулируемый электропривод в станках;
- 2) как тяговые двигатели на электрифицированном транспорте;

3) в качестве электросварочных генераторов.

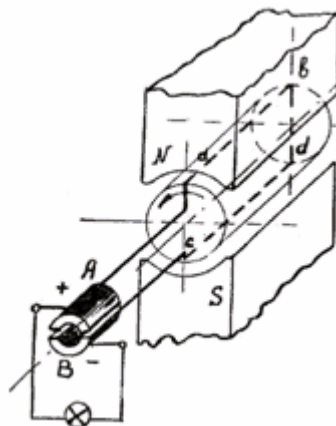


Рисунок 4.1 - Простейший генератор постоянного тока

К основным частям современной машины постоянного тока относятся статор (неподвижная часть), ротор (вращающаяся часть, которую в машинах постоянного тока обычно называют якорем), разделенные воздушным зазором, и коллектор. На внутренней поверхности статора закреплены полюса, предназначенные для создания в машине магнитного потока. Первоначально это были постоянные магниты, а, начиная с 1863 года, применяются электромагниты.

Простейшими генераторами постоянного тока может служить виток из медного или алюминиевого проводника, вращающийся между двумя постоянными магнитами или электромагнитами. Для получения во внешней цепи тока не синусоидального, а постоянного по направлению, применяется кольцо, разрезанное на две изолированные друг от друга половины. Это кольцо называется **коллектором**, а составляющие его половинки - **коллекторными пластинами** (рисунок 4.1).

В принципе машина постоянного тока отличается от машины переменного тока коллектором.

По способам возбуждения машины постоянного тока можно классифицировать следующим образом:

- **машины независимого возбуждения**, в которых обмотка возбуждения (ОВ) питается постоянным током от источника, электрически не связанного с обмоткой якоря (рисунок 4.2, а);

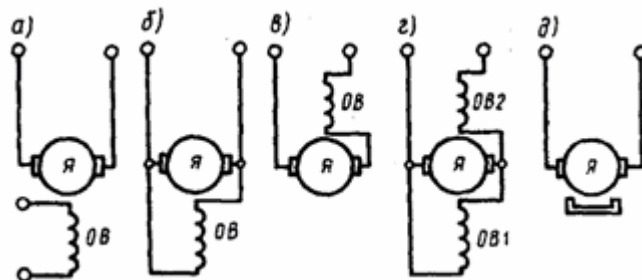


Рисунок 4.2 - Способы возбуждения машин постоянного тока

- **машины с самовозбуждением**, которые не требуют дополнительного источника питания, у них обмотка возбуждения электрически связана с якорем (рисунок 4.2, б, в, г). Эти машины еще подразделяются по способу соединения обмотки возбуждения ОВ к якорю на следующие типы:

- **машины параллельного возбуждения**, в которых обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены параллельно (рисунок 4.2, б);

- **машины последовательного возбуждения** (обычно применяемые в качестве двигателей), в которых обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены последовательно (рисунок 4.2, в);

- **машины смешанного возбуждения**, в которых имеются две обмотки возбуждения - параллельная ОВ1 и последовательная ОВ2 (рисунок 4.2, г);

- **машины с возбуждением постоянными магнитами** (рисунок 4.2, д).

Все указанные машины (кроме последних) относятся к машинам с электромагнитным возбуждением, так как магнитное поле в них создается электрическим током, проходящим по обмотке возбуждения.

5 Электрический привод

Приводом называют устройство, приводящее в действие исполнительный механизм. В зависимости от вида энергии потребляемой приводным устройством различают приводы: гидравлический, паровой, ветровой, электрический и др.

Первый привод был гидравлическим и осуществлен в Китае при помощи водяного колеса примерно 5000 лет тому назад.

В 1765 году наш соотечественник И.И Ползунов изобрел первую в мире паровую машину. Водяные колеса и паровые машины позволили приводить в движение различные механизмы на фабриках и заводах.

В XIX веке возникает и развивается практическая электротехника. В 1834-1838 гг. академик Якоби построил первый в мире электродвигатель постоянного тока. Этим электродвигателем приводился в движение катер на реке Нева в 1838 г., который вмещал 15 человек и развивал скорость около 2,5 км/час против течения реки. В 1891г. русский инженер М.О. Доливо-Добровольский изобрел трехфазный асинхронный двигатель и с этого времени во всех отраслях промышленности стал широко применяться электропривод. Мощность электродвигателей относительно общей мощности установленных двигателей всех видов энергии составляла: в 1890 г. - 5%, в 1927 г. - уже 75%, в настоящее время приближается к 100%. Применение электродвигателей оказало революционизирующее влияние, как на устройство приводов, так и на конструкцию самих производственных механизмов.

В современной инженерной практике электропривод играет решающую роль. **Электрическим приводом или просто электроприводом называется электромеханическое устройство, состоящее из электродвигателя 1, аппаратуры управления 2 и устройства 3 для передачи движения от двигателя исполнительному механизму 4** (рисунок 5.1).

Электропривод, по сравнению с локомотивами, двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и др., имеет ряд ценных преимуществ, главные из которых:

- 1) Меньший вес и габариты;
- 2) Меньшая пожароопасность;
- 3) Большая перегрузочная способность, ($\beta = 2,5$), что позволяет выбирать двигатель без

запаса по мощности (перегрузочная способность двигателя внутреннего сгорания всего 20%);

4) Простое управление при пуске, торможении, остановке (нажать кнопки);

5) Быстрота и точность управления двигателем;

6) Не требуется предварительная подготовка двигателя (заливка водой, разогрев, заправка горючим, и т.д.);

7) Простой и надежный реверс (ДВС реверса не имеет);

8) Широкие возможности по автоматизации;

9) Легкость осуществления индивидуального привода;

10) Осуществление дистанционного управления.

Надежная работа электропривода определяется многими данными, главные из них: соответствие между мощностью двигателя и мощностью механизма и соответствие между рабочими характеристиками двигателя и характеристиками механизма.

Основной характеристикой, определяющей пригодность данного типа двигателя к рабочему механизму, является механическая характеристика $n=f(M_{впр})$.

Мощность двигателя должна быть такой, при которой двигатель, работая по заданному режиму, не нагревался бы выше допустимого предела.

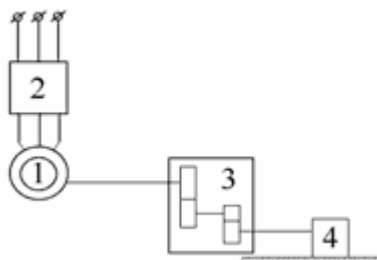


Рисунок 5.1 - Элементы устройства электропривода

По роду исполнения различают приводы: групповой, одиночный и многодвигательный.

Групповым называют такой привод, в котором один электродвигатель приводит в движение группу производственных механизмов, обычно при помощи трансмиссионной передачи. Групповой привод имеет ряд существенных недостатков, главными из которых являются:

- а) сложность управления каждым механизмом, исключающим возможность автоматизацию;
- б) большие потери энергии в передачах.

Групповой привод в настоящее время встречается лишь на старых предприятиях, как пережиток прошлого.

Одиночным или индивидуальным называется привод, в котором каждый производственный механизм приводится в движение своим двигателем. Одиночный привод получил широкое распространение, т.к. он не имеет недостатков, свойственных трансмиссионному приводу.

Многодвигательным называется привод, в котором отдельные звенья производственного агрегата приводятся в движение отдельными электродвигателями, электрически связанных

между собой в части управления.

Основной тенденцией современного машиностроения является стремление к максимальному повышению производительности производственных машин и облегчения управления ими. Одним из основных средств для достижения указанных целей является замена централизованного, однодвигательного привода рядом приводов отдельных звеньев двигателями, имеющими характеристики, наиболее полно удовлетворяющие требованиям механизмов. Замена однодвигательного привода многодвигательным значительно упрощает кинематику производственной машины, но неизбежно усложняется схема управления электроприводом.

Управление электроприводом может быть автоматическим и не автоматическим.

Электропривод с неавтоматизированным управлением называется **неавтоматизированным электроприводом**.

Электропривод с автоматизированным управлением называется **автоматизированным электроприводом**.

Для упрощения расчета и выбора мощности двигателя по условиям нагрева различают три режима работы электрических машин:

- 1) длительный,
- 2) кратковременный,
- 3) повторно-кратковременный.

Длительным называют режим, при котором за время работы с нагрузкой двигатель нагревается до температуры установившегося значения.

Кратковременным называется режим работы, при котором за время работы под нагрузкой, двигатель не успевает нагреться до установленного значения температуры, а за время паузы успевает охладиться до температуры окружающей среды.

Повторно-кратковременным называется такой режим, при котором методы работы регулярно чередуются с периодами пауз, причем за время работы под нагрузкой двигатель не успевает достигнуть установившейся температуры, а за время паузы не успевает охладиться до температуры окружающей среды.

Выбор конструктивного типа двигателя производится в зависимости от условий окружающей среды. Согласно ГОСТ двигатели изготавливаются следующего типа:

1. **Открытый**, у которого не имеется защиты от пыли и влаги.
2. **Защищенный**, у которого имеются специальные приспособления (в виде щитков с мелкими отверстиями или сеток); от пыли и влаги он не защищен.
3. **Закрытый**, корпус которого закрыт со всех сторон достаточно плотно, но не герметично.
4. **Взрывозащищенный**, имеющий полную герметизацию.

В сухих отапливаемых и не отапливаемых помещениях устанавливаются двигатели открытого и защищенного типа с нормальной изоляцией, в сырых помещениях - двигатели закрытого типа с нормальной изоляцией. На лесных разработках применяются двигатели закрытого и обдуваемого типов с противосыровой изоляцией.

Род тока предопределяется выбранным двигателем. Рекомендуется переменный ток нормальной частоты.

Рекомендуется подбирать двигатели с как можно большим напряжением, при этом они

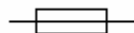
будут потреблять меньший ток из сети.

Двигатели выпускаются с напряжением 220; 380; 500 В. Стоимость двигателя для всех 3-х напряжений одинакова. Желательно иметь систему 380/220 В, т.к. она одновременно позволяет сочетать и силовую и осветительную нагрузку.

6 Электрические аппараты

Для защиты электрических устройств низкого напряжения от повреждений токами короткого замыкания применяются **плавкие предохранители**.

Условное обозначение плавких предохранителей:



Основным элементом предохранителя является его плавкая вставка - сменяемая часть предохранителя.

Плавкой вставкой называется тонкая металлическая проволочка или пластинка из свинца или сплава свинца с оловом.

При возрастании тока выше допустимого вставка плавится и отключает защищаемый объект от источника энергии, поэтому ее изготавливают из материалов с высоким удельным сопротивлением (например, сплава олова и свинца) или из хорошо проводящего металла (серебра, меди), но с малой площадью сечения.

Существует большое многообразие конструкций предохранителей с плавкой вставкой. Для напряжений до 250 В и токов примерно до 60 А широко применяются **пробочные предохранители**.

Пробочный предохранитель состоит из основания, в которое ввертывается сменяемая при перегорании вставка - так называемая пробка с резьбой, опирающаяся на неподвижный контакт. Пробка изготавливается из керамического материала и снабжается двумя металлическими контактами, между которыми припаивается плавкая проволока.

Для защиты от коротких замыканий линий высокого напряжения применяются **трубчатые предохранители** различных конструкций, например, трубчатые без наполнителя типа ПР (рисунок 6.1), трубчатые с наполнителем типа НПН, ПН2, быстродействующие предохранители типа ПНБ и другие.

В этих предохранителях плавящаяся проволока помещается в фарфоровую трубку и имеет значительную длину. Трубка не дает разбрызгиваться расплавленному металлу, а электрическая дуга, образующаяся при плавлении проволоки внутри трубки, быстро разрывается благодаря тяге воздуха в трубке.

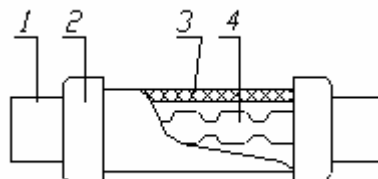


Рисунок 6.1 - Предохранитель типа ПР

Предохранитель представляет фибровую трубку 3, на которой с двух сторон накручены латунные втулки 2. К латунным втулкам крепятся контактные ножки 1. Плавкая вставка 4

располагается внутри трубки и крепится к контактным ножкам. При расплавлении вставки под влиянием высокой температуры, возникающей при этом электрической дуги, фибра патрона выделяет газы, которые создают в патроне высокое давление, что способствует быстрому гашению дуги.

Наибольшее распространение в заводской практике получили трубчатые предохранители.

Основной характеристикой плавкого предохранителя является номинальный ток плавкой вставки.

Номинальным током плавкой вставки называется такой ток, который может выдерживать вставка, не перегорая неопределенно долгое время.

Плавкие вставки стандартизированы и выпускаются серийно. На них выштамповывается номинальный ток вставки.

Автоматический воздушный выключатель - защитный электрический аппарат, автоматически отключающий электрическую цепь при возникновении аварийных режимов (короткого замыкания, перегрузки, понижения напряжения). Автомат используется также для редких коммутаций электрической цепи при нормальных условиях.

Отечественная промышленность выпускает ряд серий автоматических выключателей, рассчитанных на различные номинальные токи и для различных условий эксплуатации, например АК-63, АБ-25, А-3000, АВ и др.

Конструктивная схема одной из серии А-3000 представлена на рисунке 6.2. В воздушных автоматах серии А-3000 используется так называемый механизм моментного включения и отключения, когда замыкание и размыкание контактов аппарата осуществляется с постоянной скоростью.

Ручное включение и отключение автомата производится рукояткой 1. Подвижный контакт 11 не замкнут с неподвижным контактом 12. Чтобы включить автомат, надо привести его пружину во взведенное состояние. Для этого рукоятка 1 перемещается вниз, при этом поворачивается на некоторый угол фигурная деталь 2, пока она нижним концом не войдет в зацепление с зубцом 3, удерживающего рычага 4, при этом автомат окажется готовым к включению.

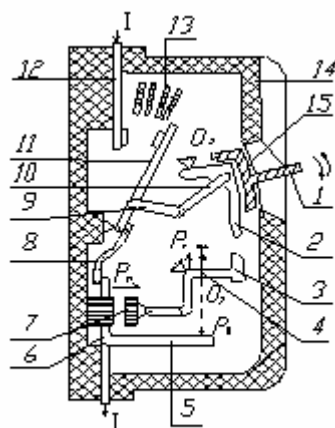


Рисунок 6.2 - Конструктивная схема автомата А-3000

Для включения автомата рукоятка 1 переводится вверх, при этом рычаги 9 и 10 перемещаются вверх и автомат включается. Цепь тока оказывается замкнутой (контакты 11, 12, гибкая связь 8, расцепители 6 и 7).

Автоматическое отключение автомата происходит при срабатывании расцепителей. При токах перегрузки срабатывает биметаллический расцепитель 6. Свободный правый конец биметаллической пластинки 5 перемещается вниз и развиваемая ею сила P_6 поворачивает вокруг оси O_1 удерживающий рычаг 4. Зуб 3 выйдет из зацепления и нижним концом фигурной детали 2, за счет силы пружины 15, деталь 2 поворачивается вокруг оси O_2 и рычаги 9 и 10 переходят через мертвое положение и под действием пружины 15 автомат отключается автоматически.

То же самое происходит, если срабатывает максимальный расцепитель 7.

При токе короткого замыкания его якорь притягивается к неподвижному магнитопроводу, охватывающему токоведущую шину.

Для отключения автомата от руки надо переместить вниз рукоятку 1. При этом правый конец пружины 15, связанный с рукояткой, так же переместится вниз, в результате чего рычаги 9 и 10 переходят через мертвое положение и автомат отключается. Возникающая при размыкании контактов автомата электрическая дуга гасится в дугогасительной решетке 13. Повышение давления внутри закрытого объема, образованного изоляционным основанием и крышкой 14, способствует гашению дуги.

Кнопки управления - аппараты, которые предназначены для коммутации в цепях управления, обычно в цепях обмоток электрических аппаратов и элементов автоматики.

Кнопки управления классифицируются следующим образом:

- 1) По способу защиты от окружающей среды: а) открытые, б) закрытые, в) герметичные;
- 2) По форме толкателя: а) с цилиндрическим толкателем, б) с толкателем грибовидного типа;
- 3) По цвету толкателя: а) красного цвета, б) черного цвета;
- 4) По надписи на толкателе ("пуск", "стоп", "вперед", "назад" и так далее).
- 5) По положению контактов на размыкание и замыкание;
- 6) По числу пар контактов: а) на одну пару контактов, б) на две пары контактов и так далее.

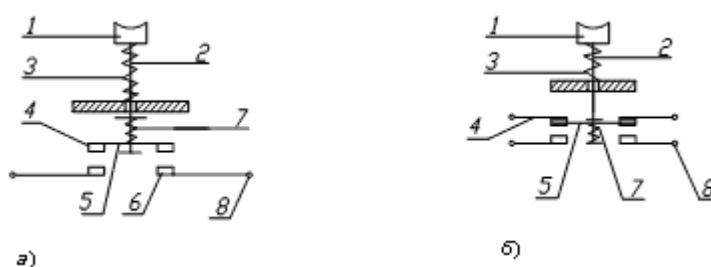


Рисунок 6.3 - Устройство кнопок управления

Устройство кнопок управления представлено на рисунке 6.3: а) на одну пару контактов; б) на две пары контактов, которые состоят из следующих элементов:

- 1 - толкатель штифта из изоляционного материала,
- 2 - штифт (стержень металлический),
- 3 - пружина стальная для возврата штифта в исходное положение;

- 4 - контакты подвижные,
- 5 - соединительный мостик подвижных контактов,
- 6 - неподвижные контакты,
- 7 - пружина стальная для обеспечения необходимого контакта,
- 8 - клеммы для присоединения проводов схемы.

Контактор - это аппарат с дистанционным управлением, предназначенный для многократных включений и отключений электрической цепи при токах нагрузки, не превышающих номинальный, а также для редких отключений при токах перегрузки ($7 \div 10$ - кратные по отношению к номинальному).

Контакторы подразделяются на контакторы постоянного и переменного тока. Пределы номинального тока контакторов от ($4 \div 2500$) А. Род коммутирующего тока определяет некоторые конструктивные особенности контакторов, поэтому контакторы переменного и постоянного токов обычно не взаимозаменяемые, хотя практически имеются контакторы, совмещающие в себе возможности как постоянного, так и переменного тока. В настоящее время широко применяются контакторы постоянного тока серии КН, переменного тока серии КТ-6000 (с щелевыми камерами и магнитным дутьем) и КТ-7000 (с дугогасильными решетками), а также универсальные контакторы, рассчитанные на постоянный и переменный ток серии КНУ. На рисунке 6.4 приведена схема, поясняющая принцип действия контактора.

Главные контакты контактора 6 и 7 (6 - неподвижный, 7 - подвижный) включены в силовую цепь двигателя Д. Втягивающая обмотка контактора 1 - в цепь управления, содержащую кнопки "пуск" и "стоп". Контактор изображен в состоянии, когда он отключает силовую цепь двигателя.

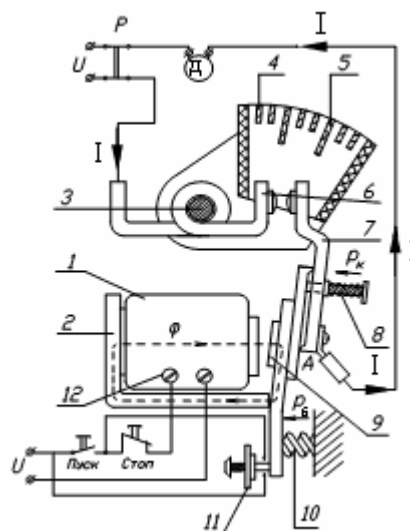


Рисунок 6.4 - Устройство и схема включения контактора

В этом случае напряжение с обмотки 1, установленное на сердечнике 2, снято и его подвижная система под действием возвратной пружины 10, создающей силу P_6 , приходит в нормальное состояние.

Возникающая при расхождении главных контактов 6, 7 дуга гасится в дугогасильной камере 4, имеющей изоляционные перегородки 5, которые способствуют растяжению дуги, увеличению ее длины и сопротивления. Быстрый выход дуги с контактов в камеру обеспечивается системой магнитного дутья.

Дугогасительная камера 4 изготавливается из дугостойкого изоляционного материала (асбестоцемента). Контактор включается, если подается напряжение к зажимам 12 обмотки 1 приводного электромагнита, что осуществляется нажатием кнопки "пуск".

Поток Φ , создаваемый током, протекающий через обмотку электромагнита, развивает тяговую силу и якорь 9 электромагнита притягивается к его сердечнику 2, преодолев силы воздействия возвратной пружины 8. При включении контактора контакты 11 замыкаются, что позволяет отпустить кнопку "пуск", цепь обмотки 1 не разрывается и контактор остается во включенном состоянии.

Тепловые реле - аппараты многократного действия, обеспечивают защиту электрооборудования от недопустимого перегрева, вызванного длительной перегрузкой.

Тепловые реле делятся на два типа - прямого и косвенного действия. Принцип устройства теплового реле прямого действия представлен на рисунке 6.5.

Тепловое реле прямого действия состоит из биметаллического элемента 1 и контактной пары 2.

Биметаллический элемент представляет собой двухслойную пластинку из металлов с разными температурными коэффициентами линейного расширения. При нагреве слой термоактивного металла расширяется, а слой термоинертного металла почти не деформируется. Если один конец биметаллической пластинки жестко закрепить, то другой свободный конец ее будет изгибаться. Этот принцип работы теплового элемента используется в тепловых реле. В реле прямого действия рабочий ток проходит по нагревательному элементу (рисунок 6.5).

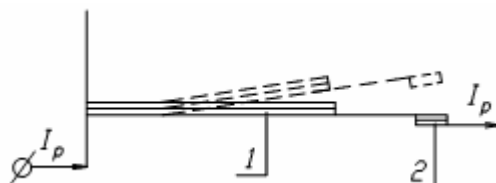


Рисунок 6.5 - Тепловое реле прямого действия

Принцип устройства реле косвенного действия представлен на рисунке 6.6.

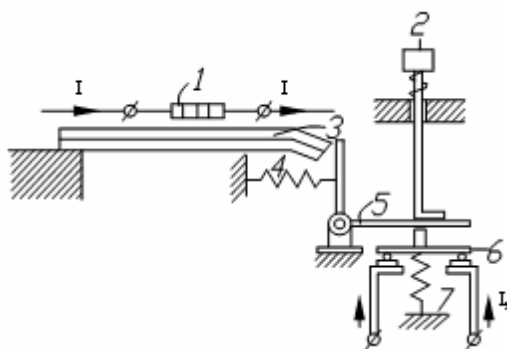


Рисунок 6.6 - Тепловое реле косвенного действия

В тепловом реле косвенного действия ток нагрузки проходит по нагревательному элементу

1, расположенному вблизи биметаллического элемента 3, который удерживает рычаг 5 в положении замыкания размыкающих контактов 6. Контакты 6 включаются последовательно в цепь управления контактора.

При токе, превышающем номинальный ток объекта, биметаллический элемент, деформируясь под влиянием тепла, излучаемого нагревателем, освобождает рычаг 5, который под действием пружины 4 поворачивается против направления вращения стрелки часов, а пружина 7 размыкает контакты реле 6. В исходное положение рычаг возвратит нажатием кнопки возврата 2 после охлаждения биметаллического элемента, а вместе с ним и защищаемого от перегрузки током объекта, на что требуется примерно 0,5 - 3 мин.

Магнитные пускатели - коммутационные аппараты дистанционного управления, предназначенные для включения и отключения электродвигателей и других потребителей электрической энергии.

Среди отечественных пускателей наиболее распространены серии ПМЕ, ПМА и ПАЕ. Конструктивная схема пускателя ПАЕ представлена на рисунке 6.7.

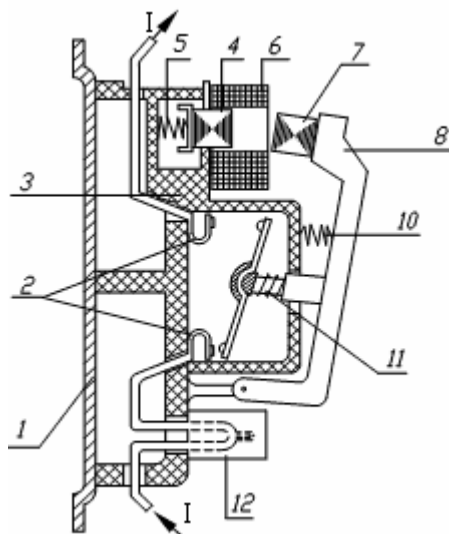


Рисунок 6.7 - Конструктивная схема пускателя ПАЕ

Магнитные пускатели бывают *нереверсивные* и *реверсивные*. Нереверсивные магнитные пускатели обеспечивают включение и отключение двигателей при одном направлении вращения, а реверсивные - при обоих направлениях вращения. В реверсивных магнитных пускателях, состоящих из двух контакторов, укрепленных на общем основании, предусмотрена электрическая блокировка цепей, исключающая одновременное включения контакторов, которая дополнена механической блокировкой их подвижных частей.

Пускатели серии ПМЕ предназначены для управления двигателями до 10 кВт, они имеют прямоходовую подвижную систему поворотного типа.

7 Электрическая осветительная сеть

Электрической осветительной сетью называется система проводов, по которым подводится электрическая энергия к светильникам.

Рассчитать сеть - это значит определить для каждого ее участка марку провода и сечение

жил провода в мм^2 .

Марка провода выбирается по справочнику или каталогу в зависимости от ряда факторов, главные из которых:

- Характер помещения;
- Состояние среды;
- Пожароопасность;
- Пыльность;
- Условия монтажа.

Согласно правилам устройства электротехнических установок помещения делятся на следующие категории:

- 1. Сухие отапливаемые помещения** (жилые дома, конторы, клубы, мастерские и т.д.).
- 2. Сухие неотапливаемые помещения** (сени жилых домов, склады, подсобные помещения).
- 3. Сырые помещения, особо сырые** и с едкими парами или газами (общие кухни, бани, прачечные, уборные, птичники, овощехранилища).
- 4. Пожароопасные помещения** (мельницы, деревоотделочные помещения и мастерские, молотильные сараи, овины, амбары и т.д.)
- 5. Взрывоопасные помещения** (нефтебазы, склады нефтепродуктов, помещения приготовления и хранения лакокрасочных материалов, отделочные цеха, где применяются нитролаки и нитрокрайки).

В помещениях различной категории применяются различные марки проводов.

Наибольшее распространение имеют провода следующих марок:

1. "ПРД" - провод медный многопроволочный в резиновой изоляции, двухжильный в общей хлопчатобумажной непропитанной оплетке (сечение $0,5 - 6 \text{ мм}^2$, напряжение - 220 В).
2. "ШР" - провод медный многопроволочный в резиновой изоляции, двухжильный в общей хлопчатобумажной непропитанной оплетке, гибкий (сечение $0,5 - 6 \text{ мм}^2$, напряжение - 220 В).
3. "ПР-500" - провод медный с резиновой изоляцией, одножильный, в пропитанной оплетке из хлопчатобумажной пряжи сечение ($1 - 400 \text{ мм}^2$, напряжение - 500 В).
4. "АПР" - провод алюминиевый с резиновой изоляцией, одножильный в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанный асфальтовым лаком.
5. "ПРГ" - провод медный многопроволочный с резиновой изоляцией, одножильный в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной асфальтовым лаком, гибкий.
6. "ПРТО" - провод медный многопроволочный с резиновой изоляцией, в общей пропитанной хлопчатобумажной оплетке, для прокладки в газовых трубах (напряжение - 500 В).
7. "ПВМ" - провод воздушный медный, одножильный с оплеткой из волокнистых материалов, предохраняет медь от воздействия наружной атмосферы.

Внутренние сети выполнены главным образом проводами и шнурами. Многопроволочные провода очень удобны благодаря своей гибкости в монтаже.

В сухих отапливаемых помещениях применяются шнуры. Шнуры используются в сетях с напряжением не более 220 В и монтируются на роликах. Провода в сухих и отапливаемых помещениях прокладывается на роликах, к которым крепятся мягкой стальной оцинковочной проволокой. В сырых помещениях и вне зданий провода прокладываются на изоляторах. Кроме того, провода прокладываются в эбонитовых трубках и в стальных газовых трубках.

Сечение провода может быть определено:

1. По допустимому предельному нагреву ($t \leq 55^\circ$);
2. По допустимой потере напряжения;
3. По допустимой механической прочности.

Из трех полученных сечений принимается к установке в сеть наибольшее.

8 Электрическое освещение

Искусственное освещение играет важную роль в жизни человека. Качество освещения влияет на самочувствие человека, производительность труда, качество труда.

Из всех видов искусственного освещения наилучшим является электрическое по ряду причин, главные из которых:

1. Близость к солнечному освещению;
2. Простота устройства и эксплуатации;
3. Экономичность;
4. Безопасность.

Электрическая лампа изобретена Лодыгиным в 1873 г. Лампы накаливания представляют собой источники света, работающие по принципу температурного излучения. На сегодняшний день лампы накаливания являются наиболее распространенными источниками света.



Рисунок 8.1 - Электрическая лампа накаливания

В качестве нити накала используют спираль из тугоплавкого материала, чаще всего из вольфрама с примесью оксида тория. Нить накала может быть односпиральной или многоспиральной. Некоторые лампы наполняют нейтральным газом (азотом, криптоном, аргоном). Это обеспечивает уменьшение раскалиения нити, снижение теплоотдачи, при этом удлинняется срок службы лампы. Температура нити накала достигает $2600 \div 3000$ К.

Основные параметры ламп накаливания: номинальное напряжение $U \leq 220$ В, номинальная мощность P , которую лампа потребляет из сети, излучаемый световой поток F , световая

отдача и средний срок службы лампы, примерно равный 1000 часов.

Сроком службы называется время ее непрерывного горения при номинальном напряжении, в течении которого она уменьшает световой поток на 10% от начального.

Напряжение, питающее лампу, не должно быть меньше 97,5% от номинального. Уменьшение напряжения на 10% снижает световой поток лампы на 30%.

Лампы накаливания весьма чувствительны к колебаниям напряжения.

Электрическая энергия может превращаться в световую непосредственно, независимо от теплового состояния вещества, излучающего свет, за счет **люминесценции**. Существует большое число газосветных ламп, работающих на основе **электролюминесценции** - свечения газа в трубке лампы под действием электрического тока.

Каждому инертному газу и парам металла соответствует своя длина волны излучения. Так, трубки с гелием светятся светло-желтым или бледно-розовым светом, с неоном - красным цветом, с аргоном - голубым. Трубки, заполненные парами натрия, дают желтый свет, а трубки с парами ртути - фиолетовое и ультрафиолетовое излучение.

Люминесцентные лампы дневного и белого света выполняют в виде прямой или дугообразной трубки из обычного стекла, не пропускающего коротковолновые ультрафиолетовые лучи. Электроды выполняются из вольфрамовой проволоки. Трубка заполнена смесью аргона и паров ртути. Внутри трубка покрыта люминофором - специальным составом, который светится под воздействием ультрафиолетовых лучей, возникающих при электрическом разряде в парах ртути. Аргон способствует надежному горению разряда в трубке.

Люминесцентные лампы постоянно совершенствуются. В лампы, которые предназначены для жилых помещений, вместо ртути вводится амальгама ртути, чтобы избежать возможности заражения парами ртути помещения при разрушении лампы.

К **газоразрядным лампам высокого давления** относятся дуговые ртутные лампы типа ДРЛ, натриевые лампы высокого давления ДНаТ, металлогалогенные йодидные лампы ДРИ, ксеноновые дуговые ДКСТ и т.д.

Лампы ДРЛ предназначены для освещения улиц и объектов, где не требуется высокое качество цветопередачи. Цвет суммарного излучения близок к белому. Доля красного излучения составляет 5-8%.

Натриевые лампы высокого давления предназначены для освещения улиц и объектов, где не требуется высокое качество цветопередачи. Выпускаются также трубчатые натриевые лампы низкого давления. Эти лампы применяются для освещения дорог, мостов, туннелей, железнодорожных пересечений, подземных переходов.

Металлогалогенные лампы по принципу действия и конструкции подобны ртутным. Отличие их в том, что в разряде, кроме паров ртути, присутствуют галогениды различных металлов.

Дуговые ксеноновые трубчатые лампы выпускаются мощностью 5, 10, 20 и 50 кВт. Это самые мощные источники света. Они предназначены для освещения открытых пространств, и устанавливают их на высоких мачтах. Срок их службы около 3000 часов. Эти лампы обладают сплошным спектром, близким к спектру солнечного света.

Комплект, состоящий из источника света и устройства для правильного распределения света, называется **осветительным прибором**.

Осветительные приборы делятся на:

1. Осветительные приборы ближнего действия - светильники.

2. Осветительные приборы дальнего действия - прожекторы.

Светильником называется источник света и осветительная арматура. **Осветительной арматурой** называется устройство для правильного светораспределения в пространстве и на освещаемой поверхности. Осветительная арматура, кроме того, обеспечивает:

- 1) защиту глаз от яркости источника;
- 2) крепление осветительного прибора к потолку или стене;
- 3) защиту источника света от пыли, влаги, механических повреждений и его изоляцию от взрывоопасной среды.

В зависимости от распределения светового потока между верхней и нижней полусферами различают светильники:

1. Прямого света, когда в нижнюю полусферу излучается не менее 90 % всего потока;
2. Преимущественно прямого света (от 60 до 90 %);
3. Рассеянного света, когда в каждой из полусфер излучается не более 60 % светового потока;
4. Преимущественно отраженного света, когда в верхнюю полусферу излучается от 60 до 90 % всего светового потока;
5. Отраженного света (более 90 %).

При проектировании освещения необходимо заботиться о том, чтобы создать такие условия, при которых можно было бы без затруднений и без вреда для глаз выполнять нужную работу.

Системы освещения делятся на основные, рабочие и аварийные.

Существует три системы рабочего освещения: **общее, местное и комбинированное.**

Общее освещение распространяется во всем помещении или его части более или менее равномерно на всех его участках. Светильники располагаются равномерно над всей рабочей площадью освещаемого помещения или локализовано.

Местное освещение предназначается только для рабочих поверхностей. Местное освещение дополняется, как правило, общим освещением поверхности.

Комбинированное освещение - это сочетание общего и местного освещения.

9 Электроснабжение предприятий

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории:

А) Потребители первой категории, перерыв в снабжении которых может повлечь за собой опасность для людей или большой материальный ущерб, связанный с повреждением оборудования, браком при производстве продукции или длительным расстройством технологического процесса.

Б) Потребители второй категории, перерыв в электроснабжении которых приводит к существенному недовыпуску продукции, простоя людей, механизмов и промышленного транспорта.

В) Потребители третьей категории, к ним относятся все потребители, неподходящие под

определение первой и второй категорий, например, вспомогательные цеха заводов и фабрик, бытовые нагрузки и т.д.

Потребители первой категории должны иметь не менее двух независимых друг от друга источников питания, например, одна электрическая станция, две подстанции, электрическая система и дизельная или локомотивная установка и т.д.

Потребители второй категории могут снабжаться от одного источника питания. Схема электроснабжения предусматривает при этом обязательно два ввода, чтобы при выходе из строя одной линии предприятие получало питание по другой линии.

Потребители третьей категории, как правило, питаются от одного источника энергии; резервирование питания производится лишь при легкой возможности осуществлять это.

Для осветительных установок предприятий в настоящее время применяется напряжение 220 В (напряжение у ламп 220 В), несмотря на некоторые преимущества напряжения 110/127 В, позволяющего, благодаря большей светоотдаче ламп на этом напряжении, снизить расход энергии для освещения. При напряжении 220 В получается значительная экономия цветного металла в осветительных сетях.

Напряжение силовых токоприемников (электродвигателей) равно 380 В. В связи с этим Правилами устройства электроустановок рекомендуется производить распределение электроэнергии преимущественно по четырехпроводной системе трехфазного тока напряжением 380/220 В от общих трансформаторов для питания силовых и осветительных приемников.

Для питания местного освещения в помещениях без повышенной опасности (некоторые бытовые и им подобные помещения) рекомендуется применять напряжение, одинаковое как для местного, так и для общего освещения, принятого на предприятиях, а в помещениях с повышенной опасностью должно применяться 36 В.

При проектировании электроснабжения предприятия одним из важных вопросов является определение расчетных нагрузок. Завышение мощности, допущенное при определении мощности предприятия, ведет к перерасходу цветного металла и увеличению затрат на оборудование, а уменьшение расчетной мощности приводит к увеличению тока нагрузки (повышению температуры проводов и кабелей распределительных сетей) и, следовательно, к сокращению срока службы распределительных сетей.

Для расчета сетей, а также мощности станций и подстанций определяют так называемую расчетную мощность, или расчетную нагрузку.

Расчетной нагрузкой называется условная нагрузка, выраженная в кВт, кВА, которая эквивалентна по вызываемому его нагреву проводов и электрооборудования действительно имеющейся переменной нагрузке.

Выбор величины напряжения питающих линий, как правило, предопределяется напряжением источника питания.

Для питания крупных и особо крупных предприятий следует применять напряжения 110, 150, 220, 330 и 500 кВ. На первых ступенях распределения энергии на таких крупных предприятиях следует применять напряжения 110, 150 и 220 кВ.

Напряжение 35 кВ в основном рекомендуется использовать для распределения энергии на первой ступени средних предприятий при отсутствии значительного числа электродвигателей напряжением выше 1000 В, а также для частичного распределения энергии на предприятиях, где основное напряжение первой ступени (110-220) кВ. В частности, напряжение 35 кВ можно применять для полного или частичного внутризаводского распределения электроэнергии при наличии:

А) мощных электроприемников на 35 кВ (сталеплавильных печей, мощных ртутно-выпрямительных установок и т.д.);

Б) электроприемников повышенного напряжения, значительно удаленных от источников питания;

В) подстанций малой и средней мощности напряжением 35/0,4 кВ, включенных по схеме "глубокого ввода".

Напряжение 20 кВ следует применять для питания:

А) предприятий средней мощности, удаленных от источника питания и не имеющих своих электростанций;

Б) электроприемников, удаленных от подстанций крупных предприятий (карьеров, рудников и т.п.);

В) небольших предприятий, населенных пунктов, железнодорожных узлов и т.д., подключаемых к ТЭЦ ближайшего предприятия.

Целесообразность применения напряжения 20 кВ должна обосновываться технико-экономическими сравнениями с напряжениями 35 и 10 кВ с учетом перспективного развития предприятия.

Напряжение 10 кВ необходимо использовать для внутризаводского распределения энергии:

А) на предприятиях с мощными двигателями, допускающими непосредственное присоединение к сети 10 кВ;

Б) на предприятиях небольшой и средней мощности при отсутствии или незначительном числе двигателей на 6 кВ;

В) на предприятиях, имеющих собственную электростанцию с напряжением генераторов 10 кВ.

Напряжение 6 кВ обычно применяется при наличии на предприятии:

А) значительного количества электроприемников на 6 кВ;

Б) собственной электростанции с напряжением генераторов 6 кВ.

Применение напряжения 6 кВ должно обуславливаться наличием электрооборудования на 6 кВ и технико-экономическими показателями при выборе величины напряжения.

Выбор схемы электроснабжения промышленных предприятий определяется требованиями надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей электроэнергией, наличием электростанции на предприятии, возможностью присоединения этой электростанции к энергетической системе и расположением объекта электроснабжения по отношению к источнику питания и электрическим сетям энергетической системы.

Системы электроснабжения разделяют на систему внешнего электроснабжения (воздушные и кабельные линии от подстанции энергосистемы до главной понизительной подстанции ГПП или распределительного пункта ЦРП) и систему внутреннего электроснабжения (распределительные линии от ГПП или ЦРП до цеховых трансформаторных подстанций).

Схемы внешнего или внутреннего электроснабжения выполняют с учетом особенностей режима работы потребителей, возможностей дальнейшего расширения производства, удобства обслуживания и т. д.

Электроснабжение промышленного объекта может осуществляться от собственной электростанции (например, ТЭЦ), от энергетической системы, а также от энергетической системы при наличии собственной электростанции, работающей с ней параллельно.

Электроснабжение от собственной электростанции. Если собственная электростанция находится в непосредственной близости от цехов предприятия, а напряжение распределительной сети совпадает с напряжением генераторов электростанции, то распределение электроэнергии по предприятию осуществляется по схеме, изображенной на рисунке 9.1. При этом близлежащие цеховые трансформаторные подстанции ТП присоединяют непосредственно к шинам распределительного устройства РУ электростанции, а удаленные потребители (соседние предприятия, подсобные хозяйства, насосные станции, города и жилые поселки и др.) присоединяют через указанные на рисунке трансформаторы T_1 и T_2 .

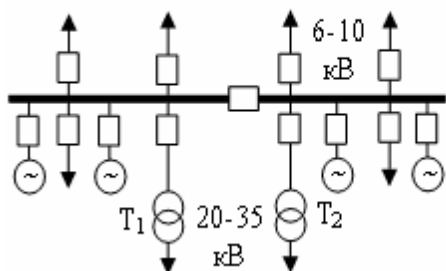


Рисунок 9.1 - Схема электроснабжения от собственной электростанции

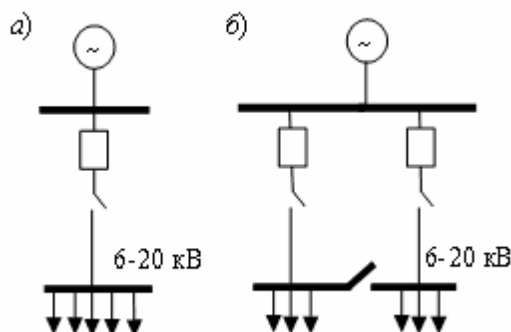


Рисунок 9.2 - Схема электроснабжения от энергосистемы при напряжении 6-10-20 кВ

Электроснабжение от энергетической системы (при отсутствии собственной электростанции). В зависимости от величины напряжения источника питания электроснабжение от энергетической системы выполняют по двум схемам:

- а) по схеме, представленной на рисунке 9.2, - при напряжении (6- 10-20) кВ;
- б) по схеме, изображенной на рисунке 9.3 - при напряжении (35- 220) кВ.

Схема, представленная на рисунке 9.2, а, применяется для питания потребителей 3-й категории; схема с секционным разъединителем, изображенная на рисунке 9.2, б, - для питания потребителей 2-й и 3-й категорий. Если при отключении одной из линий питание секции должно восстанавливаться автоматически, то вводный и секционный разъединители заменяются выключателями.

Приведенные схемы с питанием от районной подстанции системы напряжением (6-20) кВ применимы в том случае, если промышленное предприятие находится на расстоянии не более 5-10 км от подстанции системы. При больших расстояниях обычно применяют схемы с питанием от подстанций напряжением (35-220) кВ.

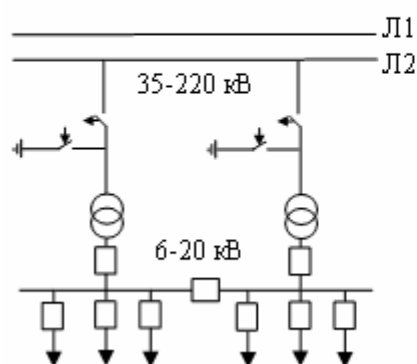


Рисунок 9.3 - Схема электроснабжения от энергосистемы при напряжении 35-220 кВ

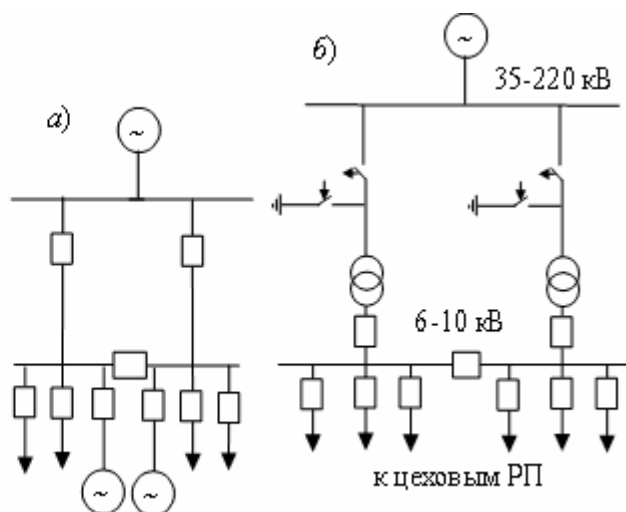


Рисунок 9.4 - Схема электроснабжения от энергосистемы при наличии собственной электростанции

В схеме, представленной на рисунке 9.3, на стороне (35-220) кВ вместо выключателей используют отделители и короткозамыкатели. Мощность трансформаторов и сечение проводов линии выбирают так, чтобы в нормальном режиме они были загружены на 80-90%, а при возможном отключении одной из линий и трансформатора вторая линия и трансформатор могли бы обеспечить, хотя и с допустимой перегрузкой, бесперебойную работу предприятия.

Схему моста (соединение линий) применяют, когда приходится периодически (по графику нагрузки) с целью экономии электроэнергии отключать и включать трансформаторы.

Электроснабжение от энергетической системы и собственной электростанции.

Схема, изображенная на рисунке 9.4, а, применяется, когда промышленное предприятие питается от энергосистемы напряжением (6-10-20) кВ, совпадающим с генераторным напряжением, и когда собственная электростанция расположена в центре нагрузок. В этом случае распределительное устройство электростанции совмещается с центральным распределительным пунктом ЦРП предприятия. Самостоятельное здание ЦРП сооружается только в случае, если электростанция расположена далеко от центра нагрузок предприятия.

Схема, представленная на рисунке 9.4, б, применяется, когда промышленное предприятие питается от энергосистемы повышенным напряжением (35-220 кВ), которое понижается на территории предприятия до напряжения генераторов электростанции. В этой схеме генераторы и распределительное устройство электростанции не показаны.

РУ главной понизительной подстанции располагается в центре нагрузок, тогда как место расположения РУ собственной электростанции предприятия диктуется другими условиями: расположением подъездных путей для обеспечения топливоснабжения, расположением, источника водоснабжения и др.

Выбор типа, числа и мощности трансформаторов подстанций должен быть обусловлен величиной и характером электрических нагрузок, размещением нагрузок на генеральном плане предприятия, а также производственными, архитектурно-строительными и эксплуатационными требованиями. Должны учитываться, кроме того, конфигурация производственных помещений, расположение технологического оборудования, условия окружающей среды, условия охлаждения, требования пожарной и электробезопасности и типы применяемого электрооборудования.

Однотрансформаторные цеховые подстанции применяются при питании нагрузок,

допускающих перерыв в электроснабжении на время доставки "складского" резерва, или при резервировании, осуществляемом по перемычкам на вторичном напряжении.

Двухтрансформаторные подстанции применяются при преобладании потребителей 1-ой и 2-ой категорий, а также при наличии неравномерного суточного или годового графика нагрузки.

Цеховые подстанции с числом трансформаторов более двух используются лишь при надлежащем обосновании необходимости их применения, а также в случае установки отдельных трансформаторов для питания силовых и осветительных нагрузок.

Также рекомендуется:

- трансформаторы мощностью более 1000 кВА применять при наличии группы электроприемников большой мощности (например, электропечей) или значительного числа однофазных электроприемников с частыми пиками нагрузки (например, электросварочных установок) и в цехах с высокой удельной плотностью;

- стремиться к возможно большей однотипности трансформаторов цеховых подстанций;

- при двухтрансформаторных подстанциях, а также при однострансформаторных подстанциях с магистральной схемой электроснабжения мощность каждого трансформатора выбирать с таким расчетом, чтобы при выходе из строя одного трансформатора оставшийся трансформатор мог нести нагрузку потребителей 1-ой и 2-ой категорий (с учетом допустимых нормальных и аварийных нагрузок); при этом потребители 3-ей категории могут временно отключаться.

Различают следующие виды подстанций:

1) Отдельно стоящие ТП;

2) Пристроенные ТП, у которых одна или две стены являются общими с производственным корпусом;

3) Встроенные ТП - Подстанции полностью или частично размещаются в цехе. При расположении подстанций в цехе трансформаторные камеры выходят наружу;

4) Внутрицеховые ТП, полностью расположенные внутри цехов.

В настоящее время отдельно стоящие подстанции почти не проектируются из-за неэкономичности подобного решения. Действительно, в этом случае резко увеличивается длина кабелей низкого напряжения и, соответственно, возрастают потери в них, перерасходуется цветной металл.

Отдельно стоящие подстанции встречаются лишь на старых предприятиях или на предприятиях с незначительной потребляемой мощностью.

Преимущественное расположение на предприятиях получили пристроенные и встроенные подстанции, применение которых обеспечивает сокращение сетей низкого напряжения и потерь энергии.

Внутрицеховые ТП до сих пор не нашли применения в текстильной и деревообрабатывающей промышленности из-за пожароопасности и пылевыведения в основных цехах.

10 Высоковольтная аппаратура электростанций и подстанций

К высоковольтному оборудованию на трансформаторных подстанциях относятся: разъединители; короткозамыкатели и отделители; плавкие предохранители; выключатели;

разрядники и т.д.

Разъединители используются в установках электроснабжения напряжением выше 1000 В для разъединения и переключения участков сети, находящихся под напряжением, но не нагруженных рабочим током.

Разъединители создают необходимый видимый разрыв электрической цепи, требуемый условиями эксплуатации электроустановок.

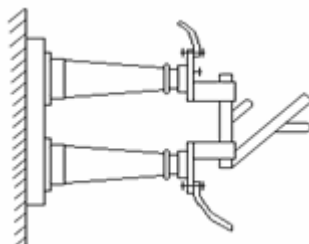


Рисунок 10.1 - Общий вид разъединителя

Разъединители не имеют специальных устройств для гашения электрической дуги. Поэтому разъединители снабжаются блокировкой, предохраняющей от отключения тока нагрузки.

Разъединители допускают отключать ток холостого хода трансформатора напряжением 10 кВ, мощностью 750 кВА; 20 кВ - 630 кВА, а 35 кВ до 20000 кВА.

Разъединители классифицируются:

- 1) по номинальному напряжению на 6, 10, 35, 110, 220, 500 кВ.
- 2) по номинальному току: 200, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 А.
- 3) по исполнению:
 - а) однополюсные и трехполюсные;
 - б) для внутренних установок;
 - в) для наружных установок.

К достоинствам однополюсных разъединителей можно отнести простоту и дешевизну изготовления.

К достоинствам трехполюсных разъединителей относится одновременное включение и отключение всех трех фаз и быстрота оперирования.

Трехполюсные разъединители представляют собой три однополюсных разъединителя, но без кольцевых зацепов, соединенные в один аппарат при помощи общей рамы и вала.

Разъединители для наружных установок изготавливаются двух типов - горизонтально-поворотного и вертикально-рубящего.

Достоинство разъединителей вертикально-рубящего типа - наименьшие габариты по площади и несколько более благоприятные условия в случае установки дугогасящих рогов.

Все разъединители наружных установок изготавливаются в виде отдельных фаз, благодаря чему можно легко менять межфазные расстояния.

Все трехполюсные и однополюсные разъединители строятся совместно с соответствующими им приводами, которые бывают ручными, электрическими и пневматическими.

Плавкие предохранители производят автоматическое отключение, когда ток в цепи превышает установленную величину. При срабатывании предохранитель выходит из строя, и чтобы подготовить его для дальнейшей работы, необходимо сменить в нем плавкую вставку или патрон. Ценным свойством плавких предохранителей является простота устройства, малая стоимость, быстрое отключение цепи при коротком замыкании. Недостаток - отключение цепи плавкими вставками вызывает перенапряжение на отключаемом участке, возможно однофазное отключение и последующая ненормальная работа установок или участков сети. Предохранители высокого напряжения выпускаются для наружной и внутренней установок на напряжение 3, 6, 10 и 35 кВ.

Несмотря на недостатки, плавкие предохранители широко применяют для защиты силовых трансформаторов небольшой мощности, электродвигателей, распределительных сетей и измерительных трансформаторов напряжения.

Выключатель производит отключение электрических цепей под нагрузкой напряжением выше 1000 В. Выключатель должен включать и отключать токи, как в нормальном, так и в аварийном режимах работы электроустановки, которые сопровождаются обычно большим увеличением токов, следовательно, выключатель является наиболее ответственным элементом высоковольтной установки. При разрыве электрической цепи возникает электрическая дуга. В зависимости от применяемой дугогасительной среды выключатели бывают жидкостные и газовые, из которых наиболее распространены масляные и воздушные. Масляные выключатели имеют большие размеры и вес - это один из их недостатков. Недостаток воздушных выключателей состоит в необходимости иметь компрессорную установку для подачи воздуха в гасительную камеру давлением 0,8-2,0 МПа, а также для управления электропневматическими клапанами включения и отключения. В масляных выключателях дугогасительной средой является трансформаторное масло; контактная система находится в баках или в сравнительно небольших бачках - горшках. В зависимости от размера бака выключатели бывают баковые с большим объемом масла, которое используется не только для гашения дуги, но и для изоляции токоведущих частей, и горшковые или малообъемные, в которых масло используют только для гашения дуги. В воздушных выключателях в качестве дугогасительной среды применяется сжатый воздух; контактная система находится в изоляционном цилиндре или камере.

Масляным выключателем (МВ) называется такой выключатель, в котором расхождение контактов, образование дуги и ее гашение происходят в баке, заполненном трансформаторным маслом.

При отключении цепи выключателем в его баке происходят следующие явления:

- 1) в момент расхождения контактов между ними возникает дуга;
- 2) под действием очень высокой температуры дуги (в несколько тысяч градусов) масло вокруг нее испаряется и разлагается.
- 3) газообразные продукты разложения масла образуют вокруг дуги газовую оболочку - пузырь.
- 4) газовый пузырь оттесняет масло от области занимаемой дугой и будучи легче масла начинает подниматься вверх;
- 5) выделение газов из масла окружающего дугу происходит весьма интенсивно и в некоторых случаях с очень большой скоростью.

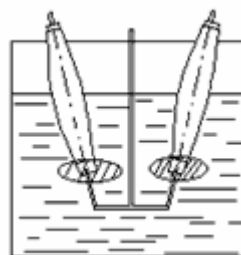


Рисунок 10.2 - Принцип устройства масляного выключателя

Происходящий в дуге процесс является необратимым процессом. Поглощенная дугой мощность обратно в сеть не возвращается, а рассеивается в окружающей дугу среде, т.е. расходуется на нагрев и разложение масла и на нагрев контактов. По мере увеличения длины дуги напряжение на контактах выключателя возрастает и выделяемая дугой мощность увеличивается. В начале отключения длина дуги невелика, напряжение на дуге небольшое, к концу же отключения длина дуги увеличивается, и напряжение достигает 20-30 % U сети. Выделяемая дугой мощность очень большая. Создается огромное давление в газовом пузыре, которое распространяется в масле со скоростью звука, достигает стенок бака и вызывает удар. Чтобы не было взрыва, масляные выключатели снабжаются особыми газоотводными трубами с маслоотделителем. Малейшая затяжка процесса гашения дуги ведет к повышению давления до такой величины, что масляный выключатель взрывается. Чтобы предупредить это, масляные выключатели снабжаются предохранительными клапанами. Образующийся в результате разложения газовый пузырь содержит: водород - 80%; ацетилен (C_2H_2); метан (CH_4); этилен (C_2H_4) и другие углеводороды. Кроме того, выделяется еще углерод в виде черной копоти или сажи, которая вызывает почернение масла и постепенно осаждается на дне бака и других частях, находящихся в масле.

Выделяемые из масла газы способны при смешивании с кислородом или воздухом давать воспламеняющую смесь. Для этого высота слоя масла над контактами выключателя должна быть достаточно высока. Если газ выйдет на поверхность слишком горячим, то может произойти воспламенение и взрыв смеси газа с воздухом под крышкой выключателя. Через неплотности и щели выбрасывается пламя наружу. Такое явление крайне нежелательно и по существующим нормам недопустимо. Чтобы этого не происходило, необходимо проверять уровень масла по имеющемуся масломерному устройству и в случае необходимости доливать масло.

Для защиты оборудования подстанции от перегрузок, коротких замыканий и от недопустимого снижения напряжения предусмотрены автоматические устройства:

1. Выключатель максимального тока.
2. Автомат понижения напряжения.

Автоматический выключатель максимального тока применяется, если цепь должна быть отключена, при уменьшении тока в ней или в одной из ее ветвей ниже предельного значения. Действие автомата основано на электромагнитном принципе. Если ток в защищаемой цепи достигает предельного значения, катушка втягивает стальной сердечник и защелка освобождает пружину, последняя разрывает контакты цепи.

Автоматический выключатель пониженного напряжения по принципу действия схож с выключателем максимального тока. Он разрывает цепь при понижении напряжения или при полном его исчезновении. Действие автомата основано на электромагнитном принципе.

Выключатели с электромагнитным гашением дуги имеют ряд преимуществ: не требуют масла для гашения дуги; пожаро- и взрывобезопасны; имеют повышенную износоустойчивость дугогасящих частей выключателя. Эти преимущества определяют их использование в установках с частыми отключениями, например в электропечных, тяговых и выпрямительных

подстанциях.

Включают и отключают выключатели вручную, дистанционно или автоматически. Механизм для включения и отключения выключателя называют *приводом*. У большинства выключателей он представляет собой отдельный аппарат - электромагнитный, пружинный, грузовой или пневматический, соединяемый с приводным валом выключателя. При ручном управлении, применяемом для выключателей малой мощности, воздействуют вручную на маховик или штурвал, связанный с валом выключателя.

Короткозамыкатели - аппараты, предназначенные для искусственного создания короткого замыкания в тех случаях, когда ток при повреждениях в трансформаторе может оказаться недостаточным для срабатывания релейной защиты. Короткозамыкатели применяют на подстанциях без выключателей на стороне высокого напряжения. Они предназначены для наружной установки.

Отделители - это двухколонковые разъединители с ножами заземления (ОДЗ) или без них (ОД), управляемые общим приводом, размещенным в шкафу при напряжении до 110 кВ. Отделители на 220 кВ выполняют в виде трех отдельных полюсов с самостоятельными приводами. Отделители могут отключать токи намагничивания трансформаторов мощностью до 16 МВА при напряжении до 35 кВ и до 63 МВА при напряжении 110 кВ.

Короткозамыкатели и отделители обычно работают в неблагоприятных погодных условиях.

Разрядники - это аппараты, предназначенные для защиты электроустановок от перенапряжений. Разрядники разряжают волну перенапряжения на землю с последующим немедленным восстановлением нормальной изоляции сети по отношению к земле. Разрядники выполняют вентильными и трубчатыми.

Трубчатые разрядники применяют на линиях электропередач для защиты изоляции от атмосферных перенапряжений. Они представляют собой гасительную трубку, изготовленную из фибробакелита или винилпласта, внутри которой находятся стержневая и кольцевая электроды.

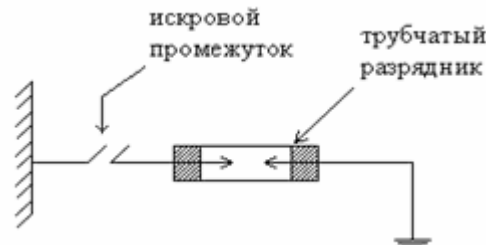


Рисунок 10.3 - Вид трубчатого разрядника

При возникновении перенапряжения в трубке пробивается искровой промежуток, возникает дуга, которая быстро гасится газами, образующимися вследствие разложения фибры от действия дуги. Трубка включается всегда последовательно с внешним искровым промежутком 2 мм/кВ линейного рабочего напряжения установки, что необходимо для предохранения материала трубки от порчи токами утечки. Расстояние между электродами внутри трубки должно быть достаточным для обеспечения надежного гашения дуги. Трубка может гасить дугу до 10 раз подряд. Достоинство трубчатых разрядников - предельная простота конструкции, малые габариты и небольшая стоимость.

Вентильные разрядники представляют собой колонки искровых промежутков и нелинейных сопротивлений. В качестве последних наиболее распространен велит, основным компонентом которого является корборунд, обработанный дугой, при этом на поверхности кристаллов корборунда образуется "запорный слой". Установка комплектов вентильных разрядников предусматривается для защиты подстанционной изоляции от волн атмосферных

перенапряжений на сборных шинах распределительных устройств, а также у трансформаторов, присоединенных к ЛЭП с помощью отпаяк.

11 Заземление и зануление электрических установок

При прикосновении человека к токоведущим частям электрической установки, находящимся под напряжением, или к металлическим частям, которые оказываются под напряжением вследствие пробоя или неисправности изоляции, может произойти поражение человека электрическим током. Электрический ток опасен для жизни. Человек начинает ощущать действие электрического тока, начиная с 0,6-1,5 мА, а при токе 1-15 мА не может самостоятельно разорвать цепь поражающего его тока. Ток 50-60 мА поражает органы дыхания и сердечно-сосудистую систему. Самое большое сопротивление току оказывает кожа. Кровь же, как соленоватый раствор, проводит ток очень хорошо. У людей с сухой кожей сопротивление несколько тысяч ом, у людей с влажной кожей - сопротивление несколько сот Ом. Ток в 0,1 А = 100 мА через сердце вызывает смерть. Смерть наступает за счет спазматического сжатия кровеносных сосудов; питание организма при этом нарушается.

При напряжениях до 250-300 В постоянный ток безопаснее переменного тока частотой 50 Гц. В диапазоне напряжений 400-600 В опасность постоянного и переменного тока примерно одинакова, а при напряжении свыше 600 В постоянный ток опаснее переменного.

Поражение человека током проявляется в виде электрического удара и электрических травм (ожогов и др.). В результате электрического удара у человека могут начаться судороги, произойти потеря сознания, прекратиться дыхание и кровообращение.

Для исключения случайного прикосновения человека к голым токоведущим частям устанавливают ограждения или располагают токоведущие части на определенной высоте.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции применяют следующие защитные меры: **заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов** и т.д. Заземление или зануление электроустановок следует выполнять:

- 1) при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока - во всех электроустановках;
- 2) при номинальных напряжениях выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока - только в помещениях с повышенной опасностью, особоопасных и в наружных установках.

Заземление бывает рабочим и защитным.

Рабочим заземлением называется присоединение к заземляющему устройству какой-либо точки электрической цепи, необходимое для обеспечения надлежащей работы установки в нормальных или аварийных условиях, что осуществляется непосредственно или через специальные аппараты: пробивные предохранители, разрядники и резисторы.

Рабочее заземление не защищает людей, оно обеспечивает:

1. Охрану оборудования от повышения напряжения за счет атмосферных разрядов (молнии);
2. Быстрое отключение поврежденного участка (создает нормальную работу релейной защиты);
3. Нормальную работу электрических сетей.

Для предохранения электрических установок от разрядов атмосферного электричества

применяются разрядники, отводящие грозовой разряд в землю. Для отвода в землю тока молнии необходимо заземление молниезащиты.

Нулевые точки генераторов и трансформаторов заземляются для обеспечения нормальной работы защитной аппаратуры. При обрыве линейного провода ток замыкания на землю имеет большую величину, поэтому защита срабатывает быстрее.

Защитным заземлением называют заземление, которое защищает людей от опасного для жизни напряжения в случае появления его на частях установки, нормально не находящихся под напряжением.

При защитном заземлении металлические части установки (корпуса электродвигателей, трансформаторов, кожухи аппаратов, выключатели и т.д.) соединяются с заземлителем, представляющим собой токопроводящую конструкцию, имеющую хороший контакт с землей. Это, как правило, сварная конструкция из стальных труб или стержней, зарытая в землю.

Защитное заземление значительно снижает потенциал корпусов электрических устройств относительно земли и прикосновение к частям, оказавшимся под напряжением из-за порчи изоляции, становится безопасным.

В результате прикосновения человека к токоведущим частям электрической установки через его тело может образоваться цепь тока. Напряжение, действующее в этой цепи, прикладывается не только к телу человека, но и к тем сопротивлениям, которые оказались соединенными последовательно с телом человека. Та часть напряжения, которая приходится в этой цепи на тело человека, называется напряжением прикосновения $U_{пр}$. Предельно допустимая величина напряжения прикосновения действующими электротехническими правилами не нормируется, но по аналогии с условиями безопасности она не должна превышать следующих значений:

- А) в помещениях без повышенной опасности - 65 В;
- Б) в помещениях с повышенной опасностью - 36 В;
- В) в помещениях особо опасных - 12 В.

При растекании тока в земле между различными точками земли возникает разность потенциалов. Если ноги человека будут касаться этих точек, то он попадет под напряжение, которое называется шаговым. Величина шага для расчетов принимается равной 0,8 м. Кривые распределения потенциала вокруг заземлителя показывают, что по мере удаления от заземлителя или от места замыкания на землю величина шагового напряжения постепенно уменьшается и на расстоянии более 20 м от заземлителя может быть принята равной нулю.

Чтобы понизить напряжение прикосновения и шаговое напряжение, устраивают сложные заземлители из нескольких электродов, расположенных в один ряд или в замкнутый контур. Точки почвы, которые находятся на расстоянии 20 м от заземлителей или от места замыкания на землю, практически будут иметь потенциал, равный нулю, т.е. будут являться «землей». При нескольких заземлителях, связанных между собой, указанное расстояние может быть больше 20 м.

Сопротивлением растеканию называют сопротивление, которое земля оказывает прохождению тока на участке между данным заземлителем и зоной, где ток растекается по столь большому объему, что его плотность можно принять равной нулю.

Защитное заземление установок применяется в сетях с незащищенной магистралью (первая точка генератора или трансформатора изоляции от земли). В сетях с заземленной магистралью устраивается зануление установок. **Занулением называется металлическое соединение с нулевым заземленным проводом металлических частей электроустановок, нормально изолированных от частей, находящихся под напряжением.** В этом случае любое повреждение изоляции приводит к короткому замыканию в сети переменного тока. Следствием этого является отключение аппаратурой защиты неисправного потребителя от первичной сети.

Зануление служит для быстрого отключения установки при замыкании на корпус.

Широкое применение зануление получило в промышленных сетях 380/220 В, питающих совместно силовое и осветительное оборудование.

Согласно Правил устройства электроустановок для безопасности прикосновения устраивается зануление.

Для этого по стенам и полу цеха прокладывается магистраль из полосовой стали сечением (20х30) мм². С магистралью соединяется вся аппаратура и оборудование.

В свою очередь магистраль зануления соединяется с нулевым проводом ввода и с вторичным контуром заземления, который устраивается около цеха для большей надежности системы зануления.

Сопротивление контура заземления должно быть не более 10 Ом, вторичного контура заземления - 30 Ом. Контур заземления выполняется трубами диаметром 50 мм и L=2,5 м; расстояние между трубами 5м. Трубы привариваются к полосе 25х4 мм.

Количество труб и общая длина стальной соединительной полосы определяется в зависимости от грунта в месте устройства заземления согласно нижеприводимой таблице.

N	Грунт	Удельное сопротивление грунта при влажности 10-20% к весу	Сопротивление контура			
			10 Ом		4 Ом	
			Число труб, шт	Длина полосы, м	Число труб, шт	Длина полосы, м
1	Песок	710 ⁴	54	270	150	600
2	Супесок	310 ⁴	20	100	58	232
3	Суглинок	110 ⁴	6	30	18	72
4	Глина	0,610 ⁴	2	10	5	20
5	Каменистая глина	110 ⁴	6	30	18	72
6	Чернозем	210 ⁴	12	60	36	144
7	Лес	2,510 ⁴	16	80	48	182
8	Болото	0,210 ⁴	2	10	5	20
9	Смешанный грунт (глина, известь, щебень)	110 ⁴	6	30	18	72

Занулению подлежат: каркасы распределительных щитов, корпуса электродвигателей и пусковой аппаратуры, металлические корпуса выключателей и штепсельных розеток, металлические части осветительных арматур, металлические оболочки кабелей и проводов, стальные трубы, в которых проложены провода, переносные приборы и другие металлические части, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под ним при порче изоляции.

Магистраль защитного заземления окрашивается черным асфальтовым лаком.

Магистраль зануления - фиолетовой краской с черными концевыми полосками (шириной в 15 мм через каждые 15 см).

12 Первая помощь при электротравмах и поражении молнией

Электротравма - это поражение живого организма электрическим током, вызывающее морфо-функциональные изменения тканей, органов и систем органов (центральной нервной системы, сердечнососудистой, дыхательной и др.). Ни один фактор не обладает такой специфичностью как электрический ток. Можно с уверенностью сказать, что несчастные случаи от поражения электрическим током уменьшились бы во много раз, если бы каждый владел необходимым минимумом знаний об особенностях воздействия электротока на организм человека.

Электрический ток оказывает на организм как специфическое, так и неспецифическое воздействие.

Специфическое действие выражается в следующем: электрический ток, проходя через живой организм, производит термическое (тепловое) действие, которое выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, крови, нервных волокон и т.п.; электролитическое (биохимическое) действие - выражается в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов; биологическое (механическое) действие - выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, сопровождается непроизвольным судорожным сокращением мышц (в том числе сердца, легких).

Неспецифическое действие проявляется в виде ожогов и механических повреждений, которые возникают в результате загорания одежды, падения пострадавшего и т.д.

Тяжесть и исход поражения при воздействии электрического тока зависит от физических параметров тока, проходящего через тело человека, его силы, напряжения, сопротивления тела, длительности воздействия, пути прохождения тока в теле, рода и частоты тока.

Тело человека является неоднородным проводником. Наибольшее сопротивление оказывает кожа (3-20 кОм). Ткани внутренних органов имеют значительно меньшее сопротивление (600-800 Ом).

Состояние кожи сильно влияет на величину сопротивления тела человека. Так, порезы кожи, царапины, ссадины, загрязнение токопроводящими веществами, увлажнение могут снизить сопротивление тела до значения, близкого к значению его внутреннего сопротивления. Изменение сопротивления тела обусловлено, главным образом, биофизическими и биохимическими факторами и в меньшей степени физико-химическими. В среднем сопротивление тела человека составляет от 1000 до 10 000 Ом.

Величина силы тока, проходящего через тело человека, определяется отношением приложенного напряжения и сопротивления тела человека.

Сила тока, проходящего через организм, является основным фактором, обуславливающим исход поражения.

Вид частоты тока, проходящего через тело человека.

Постоянный ток. Постоянный ток напряжением до 250-300 В в 4-5 раз безопаснее переменного. При более высоких его значениях он более опасен, чем переменный (50 Гц), так как его воздействие приводит к обширным и глубоким ожогам.

Переменный ток. С увеличением частоты переменного тока опасность поражения человека растет (от 1 до 100 Гц). Дальнейшее повышение частоты ведет к снижению опасности поражения. Так, например, ток напряжением 1 500 В и частотой свыше 1000 Гц практически безопасен и широко применяется в медицинской практике как ток ультравысокой частоты (УВЧ).

Путь, прохождения тока в теле человека, называется «петля тока», и в значительной степени определяет исход поражения.

Различают пять основных "петель тока":

- | | | |
|------------------|------------------|--------------|
| 1. Рука - рука | 3. Рука - нога | 5. Нога-нога |
| 2. Рука - голова | 4. Голова - нога | |

Наиболее распространенными являются петли: рука - рука (40% случаев), рука - нога (20% случаев).

Чем продолжительней действие тока на организм, тем больше тяжесть поражения.

При малых значениях силы тока (до 0,1 А) это объясняется возможностью электрического пробоя кожи. При больших значениях силы тока (0,1 - 5 А) - возможностью возникновения фибрилляции желудочков сердца.

При возникновении фибрилляции работа сердца и кровообращение в организме прекращается, что приводит к смерти.

На основании экспериментально установленных данных о величине переменного тока, вызывающего наступление фибрилляции сердца животных, имеющих вес тела, равный весу тела человека, принято считать, что смертельно опасная величина переменного тока для человека составляет 100 мА (0,1 А). В отношении величины "допустимого" или "безопасного" напряжения все еще нет установившейся точки зрения, так как электрическое сопротивление человека изменяется в широких пределах в зависимости от конкретных условий.

Можно привести десятки случаев смертельного поражения человека при воздействии напряжения 12 В и ниже.

Местные повреждения при поражении молнией аналогичны повреждениям, наступающим при воздействии электрического тока. На коже часто появляются пятна темно-синего цвета, напоминающие разветвление дерева, что обусловлено расширением сосудов.

К сожалению, до сих пор бытует ошибочное мнение, что при поражении молнией и бессознательном состоянии пострадавшего следует закопать в землю. Этого делать нельзя. Такой пострадавший нуждается в проведении реанимационных мероприятий.

Состояние пораженного в момент электротравмы может быть настолько тяжелым, что он вполне мало чем отличается от умершего: бледность кожных покровов, широкие, не реагирующие на свет зрачки, отсутствие дыхания и пульса - "мнимая" смерть.

При более легких поражениях общие явления могут проявляться в виде обмороков, тяжелого нервного потрясения, головокружения, общей слабости.

При поражении молнией общие явления выражены значительно, характерны развитие паралича, глухоты, немоты и остановка дыхания.

Освобождение от действия электрического тока.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от его действия.

В радиусе восьми метров от места касания земли электрическим проводом можно попасть под **"шаговое" напряжение**.

Передвигаться в зоне «шагового» напряжения следует в диэлектрических ботах или галошах либо "гусиным шагом" - пятка шагающей ноги, не отрываясь от земли, приставляется к носку другой ноги.

Нельзя отрывать подошвы от поверхности земли и делать широкие шаги; приближаться бегом к лежащему проводу.

Прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, в большинстве случаев вызывает непроизвольное судорожное сокращение мышц и общее возбуждение, которое может привести к нарушению и даже к полному прекращению деятельности органов дыхания и кровообращения. Если пострадавший держит провод руками, его пальцы так сильно сжимаются, что высвободить провод из его рук становится невозможным.

Поэтому одним из первых действий при оказании первой помощи является немедленное отключение электрического тока. Отключение производится с помощью рубильника, выключателя или другого отключающего аппарата, а также путем снятия или вывертывания предохранителей (пробок), разъема штепсельного соединения.

Если отключить электрический ток достаточно быстро нельзя, необходимо принять иные меры к освобождению пострадавшего от его действия. Во всех случаях оказывающий помощь не должен прикасаться к пострадавшему без надлежащих мер предосторожности, так как это опасно для жизни. Он должен следить и за тем, чтобы самому не оказаться в контакте с токоведущей частью и под напряжением шага.

Напряжение до 1000 В.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей или провода напряжением до 1000 В следует воспользоваться веревкой, палкой, доской или каким-либо другим предметом, не проводящим электрический ток, можно также оттянуть его за одежду (если она сухая и отстает от тела), например, за полы пиджака или пальто, за воротник, избегая при этом прикосновения к металлическим предметам и частям тела пострадавшего, не прикрытым одеждой.

Оттаскивая пострадавшего за ноги, оказывающий помощь не должен касаться его обуви или одежды без хорошей изоляции своих рук, так как обувь и одежда могут быть сырыми и являться проводником электрического тока.

Для этого нужно использовать диэлектрические перчатки или обмотать руку шарфом, натянуть на руку рукав пиджака или пальто, накинуть на пострадавшего прорезиненную материю (плащ) или просто сухую материю. Можно также изолировать себя, став на резиновый коврик, сухую доску или какую-либо непроводящую электрический ток подстилку, сверток одежды и т.п.

При отделении пострадавшего от токоведущих частей рекомендуется действовать одной рукой, держа вторую в кармане или за спиной.

Если электрический ток проходит в землю через пострадавшего, и он судорожно сжимает токоведущий элемент (например, провод), проще прервать ток, отделив пострадавшего от земли (подсунуть под него сухую доску либо оттянуть ноги от земли веревкой либо оттащить за одежду), соблюдая при этом указанные выше меры предосторожности как по отношению к самому себе, так и по отношению к пострадавшему. Можно также перерубить провода топором с сухой деревянной рукояткой или перекусить их инструментом с изолированными рукоятками (кусачками, пассатижами и т.п.). Перерубать или перекусывать провода необходимо пофазно, т.е. каждый провод в отдельности.

Можно воспользоваться и неизолированным инструментом, обернув его рукоятку сухой материей.

Напряжение выше 1000 В.

Для отделения пострадавшего от токоведущих частей, находящихся под напряжением выше 1000 В, необходимо одеть диэлектрические перчатки и боты, действовать штангой или изолирующими клещами, рассчитанными на соответствующее напряжение, при этом надо помнить об опасности напряжения шага, если токоведущая часть (провод и т.п.) лежит на земле, то после освобождения пострадавшего от действия тока необходимо вынести его из опасной зоны.

На линиях электропередачи, когда нельзя быстро отключить их из пунктов питания, для освобождения пострадавшего, если он касается проводов, следует произвести замыкание проводов накоротко, набросив на них гибкий неизолированный провод.

Провод должен иметь достаточное сечение, чтобы не перегорел при прохождении через него тока короткого замыкания.

Перед тем как произвести наброс, один конец провода надо заземлить (присоединить его к заземляющей металлической опоре и др.

Для удобства наброса на свободный конец провода желательно прикрепить груз. Набрасывать проводник надо так, чтобы он не коснулся людей, в том числе оказывающего помощь и пострадавшего. Если пострадавший касается одного провода, то достаточно заземлить только этот провод.

Обезопасив пострадавшего от воздействия электрического тока необходимо срочно приступить к оказанию первой помощи.

Если пострадавший в сознании, но до этого был в обмороке или находился в бессознательном состоянии, но с сохранившимся устойчивым дыханием и пульсом следует:

- уложить его на подстилку, например из одежды;
- расстегнуть одежду, стесняющую дыхание;
- создать приток свежего воздуха;
- согреть тело, если холодно;
- обеспечить прохладу если жарко;
- создать полный покой, непрерывно наблюдая за пульсом и дыханием;
- удалить лишних людей;
- вызвать скорую помощь, т.к. несмотря даже на удовлетворительное состояние пострадавшего, через несколько часов может возникнуть нарушение ритма сердца, поэтому он должен быть госпитализирован для наблюдения за ним в течение нескольких часов.

Если пострадавший без сознания:

- положить его в устойчивое боковое положение для предупреждения западания языка, а также аспирации (заглатывание) рвотных масс;
- дать понюхать нашатырный спирт, после чего он может прийти в сознание;
- обеспечить приток свежего воздуха;

- вызвать скорую помощь.

Если у пострадавшего отсутствует пульс на сонной артерии и дыхание, надо немедленно начинать реанимационные мероприятия (начать с подготовки) и продолжать их до тех пор, пока не придет скорая помощь.