

## Лекция 1.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

1.1. Электрификация технологических процессов сельскохозяйственного производства, ее роль в научно-техническом прогрессе по совершенствованию и развитию АПК

1.2. Особенности работы электрооборудования в условиях сельскохозяйственного производства

1.3. Понятия, определения, терминология и классификация электроприводов, используемых в сельском хозяйстве

1.4. Достоинства, отличительные черты и пути дальнейшего развития электропривода

#### **1.1. Электрификация технологических процессов сельскохозяйственного производства, ее роль в научно-техническом прогрессе по совершенствованию и развитию АПК**

Научно-технический процесс позволил механизировать и автоматизировать многие технологические процессы сельскохозяйственного производства, создать условия для высокопроизводительной и нетрудозатратной работы людей.

Для снабжения села электрической энергией в РБ построено 220 тысяч километров линий электропередач напряжением 0,4...10 кВ, установлено 69000 трансформаторных подстанций общей мощностью 14 тысяч МВА. Сельское хозяйство на производственные нужды ежегодно потребляет 1800 млн. кВт.ч электрической энергии. Электрооборуженность труда на одного среднесписочного работника составляет 3680 кВт.ч в год. Сегодня на селе насчитывается 1,3 млн. электродвигателей, 8,1 млн. светильников, 12,7 тысяч тепловых котлов, 21,2 тысяч электрофицированных водозаборных скважин, десятки тысяч электронагревательных установок, а так же электронасыщенная инфраструктура.

Современный этап экономического развития всех отраслей народного хозяйства страны характеризуется планомерным переходом к трудо-, ресурс- и энергосберегающим формам и возрастанием роли социальных факторов. Особенную роль в этих условиях приобретают проблемы интенсификации сельского хозяйства и связанных с ним отраслей агропромышленного комплекса. В комплексе научно-технических и социально-экономических проблем, связанных с сельскохозяйственным производством важное место занимает электрификация технологических процессов сельского хозяйства.

Под электрификацией сельского хозяйства понимаются целенаправленные применения электрической энергии в технологических процессах с технически возможной и экономически выгодной точек зрения. Современная электрификация стала сложным производственно-техническим процессом, в котором использование электроэнергии тесно переплетено с технологией и организацией производства в целом. Комплексная механизация, электрификация и автоматизация является генеральным направлением развития современного сельского хозяйства. Существенное значение использования электроэнергии для сельского хозяйства состоит во внедрении систем электрофицированных машин в сельскохозяйственное производство, позволяющая завершить ком-

плексную механизацию и автоматизацию трудоемких процессов в животноводстве, птицеводстве, растениеводстве, повысить производительность труда, сократить численность работников, улучшить качество продукции и снизить затраты на ее производство, облегчить труд рабочего.

Различные виды и способы применения электроэнергии в сельском хозяйстве классифицируются по энергетическому и отраслевому принципу.

Энергетический принцип отражает преобразования электрической энергии в другие виды энергии, а также ее непосредственное использование в технологических процессах. По этому принципу различают способы применения электроэнергии:

- преобразование электрической энергии в механическую (электроприводов механизмов и машин);
- преобразование электрической энергии в тепловую (электрический нагрев);
- преобразование энергии в энергию электромагнитных излучений (электрическое освещение и облучение);
- непосредственное использование электрической энергии в технологических процессах (электротехнология).

Отраслевой принцип классифицирует установки, используемые в животноводстве, растениеводстве, подсобных предприятиях и быту сельского населения.

В животноводстве с помощью электроэнергии осуществляют электропривод различных установок, приготовление и раздачу корма, поение животных, дойку коров, первичную обработку молока, уборку навоза, помета, оптимальный микроклимат, освещение и облучение животных, стрижку овец, вывод и обогрев молодняка птиц, сбор яиц и другое.

В растениеводстве электроэнергию используют при очистке, сушке, сортировке зерна, при приготовлении травяной муки и гранул, при переработке и хранении сельскохозяйственной продукции, при орошении. В теплицах электричество обогревает почву и воздух, регулирует температуру, влажность, газовый состав, обеспечивает фотосинтез растений, приводит в действие различные механизмы. Весьма перспективным и многообещающим направлением научно технического процесса является непосредственное использование электроэнергии в технологических процессах обработки почвы и зерна.

Огромны возможности электрификации подсобных предприятий в хозяйствах и быту. Здесь нашли распространение электропривод, -освещение, -сварка, -тепло, переработка и хранение сельскохозяйственной продукции.

Переход к комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства, курс на индустриальные методы производства выдвинул новые научно-технические задачи в области электрооборудования сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий:

- сельскохозяйственному производству требуется автоматизированные технологические линии, оснащенные средствами контроля и управления для организации слаженной работы отдельных машин и участков технологического процесса;
- внедрение регулируемого автоматизированного электропривода поточных технологических линий (вентиляционные установки типа «Климат», автоматизированные водоснабжающие установки, управление ЗАВ и КЗС, кормоцехами, системами приготовления и раздачи кормов);

- разработка и организация производства унифицированных комплектных электроприводов для основных технологических линий сельскохозяйственного производства;
- повышения требования к качеству электроэнергии и надежности электрооборудования;
- большое значение приобретает технико-экономический аспект, как при приемлемых затратах на автоматизацию получить наибольший производственный экономический эффект.

В настоящее время имеет место частичная реализация этих задач в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

## **1.2. Особенности работы электрооборудования в условиях сельскохозяйственного производства**

Работа электрооборудования в условиях сельскохозяйственного производства имеет следующие особенности:

- самые разнообразные условия работы электрооборудования по климатическим (температура, влажность, газовый состав и загрязненность воздуха), биологическим (плесневые грибы, бактерии, насекомые, грызуны) и механическим (вибрация) фактором внешней среды;
- работа электрооборудования связана со слабо изученной биотехнической системой, в которой основные процессы протекают в биологическом объекте, характеризующего непрерывностью физиологических процессов и цикличностью получения продукции;
- размещение электрооборудования на значительных площадях и часто объекты имеют контролируемые и регулируемые параметры, распределенные по технологическому объему и во времени самым случайным образом;
- большая протяженность сельских линий электропередач и работа электрооборудования от источников питания ограниченной мощности (от отдельных комплектных трансформаторных подстанций);
- огромное разнообразие технологических процессов и часто удаленность от ремонтной базы, сезонность их работы и широкий диапазон изменения параметров;
- сложность и жесткость требований по управлению электрическими установками отдельных специфических технологических процессов;
- разработка индивидуальных электроустановок и создание автоматизированных поточных электроприводов наиболее совершенного вида;
- предъявление высоких требований к надежности электрооборудования и качеству электроэнергии (отклонение и несимметрия напряжения от основной частоты).

## **1.3. Понятия, определения, терминология и классификация электроприводов, используемых в сельском хозяйстве**

На современном уровне развития техники электропривод определяется как автоматизированный электропривод (ЭП) и им называется электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины (ИОРМ) и управления этим движением (рис. 1.1).

Электрическая энергия (ЭЭ) от источника электроэнергии 1 через преобразовательное устройство 2 (источник получения требуемых для электродвигателя параметров энергии и управления ее потоком) подается на электрический двигатель 3 (электромеханический преобразователь энергии). От электродвигателя механическая энергия (МЭ) через передаточное устройство 4 (механическое, гидравлическое, электромагнитное) и имеющее функцию согласования движения электродвигателя и исполнительного органа передается на ИОРМ. Управление преобразователем 2 осуществляется от управляющего устройства 5 с помощью сигнала  $U_{\text{упр}}$ , задающего характер движения исполнительного органа, и ряда дополнительных сигналов  $U_{\text{доп}}$ , дающих информацию о реализации технологического процесса рабочей машины и характере движения ИОРМ, работе отдельных узлов ЭП, возникновения аварийных ситуаций.

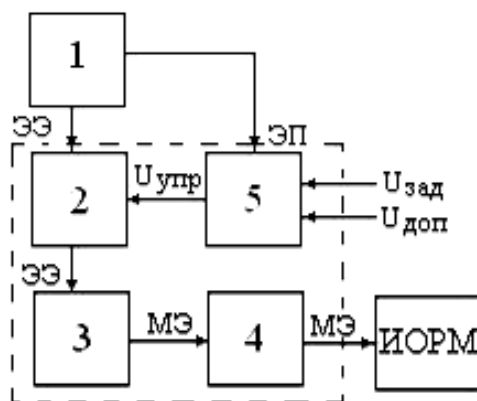


Рис. 1.1. Структурная схема электропривода в своем наиболее развитом виде

Электротехнические изделия сельскохозяйственного назначения рассчитаны, как правило, для работы в трехфазной системе переменного тока с глухозаземленной нейтралью (нулевым проводом) напряжением 220/380 В частотой 50 Гц.

В электрическом приводе наиболее характерным является использование следующих типов:

- электродвигателей – постоянного тока различного возбуждения, асинхронных, синхронных, вентильных, шаговых, линейных постоянного и переменного токов;
- передаточных устройств – механических (цилиндрических, червячных и планетарных редукторов, передач винт-гайка, цепная и ременная), гидравлических, электромагнитных муфт;
- силовых преобразователей – управляемых выпрямителей, инверторов тока и напряжения, регуляторов частоты и напряжения, система Г-Д и импульсных регуляторов напряжения;
- блоков управления – кнопок управления, командоаппаратов, реле, логических элементов, микроконтроллеров, регуляторов, усилителей, микропроцессоров и управляющих электронных машин.

Уместно здесь вспомнить, что первый электрический привод был создан русским ученым академиком Б.С. Якоби в 1839 г. для приведения в движение катера (бота) на р. Неве со скоростью 2,5 км/ч и перевозившего против течения 12...14 человек. Привод имел сорок электродвигателей постоянного тока, работавших на два параллельных вала и гальваническую батарею из 320 элементов. Несовершенство самого двигателя, неэкономичность гальванической батареи, отсутствие качественных средств, в основ-

ном проводов, для передачи энергии, не позволили в то время использовать широко электрический привод для промышленных целей.

Существенное значение электропривода для народного хозяйства состоит в широком внедрении рационального электропривода, который коренным образом изменяет условия производственной работы, повышая количество и улучшая качество продукции, повышая производительность и облегчая труд рабочего. В течение рабочего дня один человек может при помощи мускульной энергии выработать 1 кВт. ч. При средней установленной мощности электродвигателей 4...5 кВт и при семичасовом рабочем дне это дает потребление 28...35 кВт. ч, соответственно заменяя 28...35 человек.

Классификацию электропривода выполним по следующим признакам (ГОСТ 16593-79 «Термины и определения»), выделяя только наиболее важные ее рубрики:

- расположению – стационарный, передвижной;
  - назначению – главный, вспомогательный;
  - характеру движения электродвигательного устройства (ЭУ) – вращательный, линейный;
  - направлению вращения ЭУ – реверсивный, нереверсивный;
  - принципу действия ЭУ – непрерывного, дискретного;
  - виду связей ЭУ с ИОРМ – непосредственная, наличие той или иной передачи (механическая, гидравлическая, электромагнитная), маховиковая;
  - соотношению чисел ЭУ и ИОРМ – групповой (обеспечивает движение ИО нескольких рабочих машин или несколько ИО одной рабочей машины) индивидуальной, взаимосвязанной (два или более электрически или механически электродвигатели связаны между собой);
  - рода тока – постоянного, переменного;
  - источникам питания – сетевой, автономный (аккумуляторный, теплоэлектрический, система Г-Д);
  - характеру изменения параметров – нерегулируемый, регулируемый (неавтоматизированный, автоматизированный);
  - системам регулируемый электропривод выполняется: управляемый выпрямитель – двигатель (УВ-Д), преобразователь частоты – двигатель (ПЧ-Д), генератор-двигатель (Г-Д), магнитный усилитель-двигатель (МУ-Д), каскадный, импульсный, резисторный.
- Наиболее совершенным видом регулируемого электропривода в настоящее время является автоматизированный электропривод поточных линий.

#### **1.4. Достоинства, отличительные черты и пути дальнейшего развития электропривода**

Электрический привод обладает рядом достоинств и отличительных черт:

- возможностью изготовления электродвигателей на самые разнообразные мощности и скорости вращения. Диапазон мощностей современного электропривода колеблется от сотых долей ватта до десятков тысяч киловатт (50 МВт), а пределы скорости вращения – от долей оборотов в минуту, а то и менее, до несколько сотен тысяч оборотов в минуту (достигнуто 200000 об/мин);
- возможностью создания электроприводов для работы в самых разнообразных условиях – среда агрессивных жидкостей и газов, условия космического пространства, низкие и высокие температуры и так далее;

- разнообразия конструктивных исполнений электродвигателей позволяет рационально осуществлять сочленение электродвигателя с рабочей машиной;
- возможностью даже с помощью простых средств управления реализовать разнообразные и сложные виды движения ИОРМ при изменении направления движения и его параметров – момента, скорости, ускорения;
- возможностью автоматизации производственных и технологических процессов, простой включения электропривода в общую автоматизированную систему управления производства;
- высоким КПД электропривода, надежностью в эксплуатации, благоприятными условиями для обслуживающего персонала, отсутствием загрязнений окружающей среды.

К основным направлениям развития, современного электропривода относятся:

- с ростом производительности машин и увеличения их энергонасыщенности – увеличение установленной мощности электродвигателей до 220...250 кВт;
- разработка и выпуск комплектных регулируемых электроприводов с использованием современных преобразователей блочно-модульного типа и микропроцессорного управления;
- повышение эксплуатационной надежности, унификации и улучшения энергетических показателей электроприводов;
- расширение области применения регулируемого асинхронного электропривода и использования электропривода с новыми типами двигателей – линейными, шаговыми, вентильными, вибрационными, повышенного быстродействия и так далее
- развитие научно-исследовательских работ по созданию математических моделей и алгоритмов технологических процессов, машинных средств проектирования электропривода и подготовка инженерно-технических и научных кадров.

Следует отметить и то важное обстоятельство, что разработка и серийный выпуск различных средств вычислительной техники, микроэлектроники, полупроводниковых преобразователей, электрических машин, аппаратов и других элементов автоматизированного электропривода способствует его бурному развитию, совершенствованию и превращению в основное средство автоматизации и комплексной механизации не только сельского хозяйства, но и всех отраслей народного хозяйства.

## Лекция 2

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

- 2.1. Механические характеристики сельскохозяйственных машин и механизмов, их особенности и классификация.
- 2.2. Классификация механических характеристик электродвигателей по степени жесткости.
- 2.3. Электродвигатели постоянного тока (регулирование скорости вращения, изменение направления вращения, тормозные режимы)
- 2.4. Асинхронные электродвигатели (конструкция, способы пуска, регулирование частоты вращения, способы торможения).
- 2.5 Синхронные двигатели (конструкция, механическая и угловая характеристика).

#### 2.1. Механические характеристики сельскохозяйственных машин и механизмов, их особенности и классификация

Механической характеристикой рабочей машины называют зависимость угловой скорости ( $\omega$ ) от момента вращения ( $M$ ). Таким образом, для рабочей машины эта зависимость имеет вид:  $\omega_{PM} = f(M_{PT})$ . Единица момента вращения — ньютон-метр (Н·м), угловой скорости – радиан на секунду (рад/с).

В общем виде механическую характеристику рабочей машины описывают выражением:

$$M_C = M_{TP} + (M_{C.НОМ} - M_{TP}) \left( \frac{\omega}{\omega_{НОМ.РМ}} \right)^X$$

где  $M_C$  – момент сопротивления рабочей машины при ее угловой скорости, равной  $\omega$ ;

$M_{TP}$  – момент трогания рабочей машины, соответствующий ее угловой скорости, равной нулю

( $\omega = 0$ );

$M_{C.НОМ}$  – номинальный момент сопротивления рабочей машины, соответствующий ее угловой скорости, равной номинальной  $\omega_{НОМ}$ ;

$\omega$  – текущая угловая скорость рабочей машины;

$\omega_{НОМ.РМ}$  – номинальная угловая скорость рабочей машины;

$X$  – показатель степени.

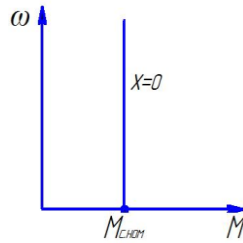
Условно все рабочие машины разбиты на четыре группы. Поэтому показатель степени  $X$  принимает обычно четыре значения, равные 0; 1; 2 и -1. Рассмотрим механические характеристики для каждой группы рабочих машин.

Механические характеристики рабочих машин при  $X = 0$ . Подставляя значение  $X = 0$  в предыдущую формулу получаем

$$M_C = M_{TP} + (M_{C.НОМ} - M_{TP}) \left( \frac{\omega}{\omega_{НОМ.РМ}} \right)^0 = M_{C.НОМ}$$

Из выражения следует, что момент рабочих машин не зависит от угловой скорости и равен номинальному моменту.

К рабочим машинам, имеющим механическую характеристику такого вида, относят ленточные транспортеры, подъемные лебедки, краны.

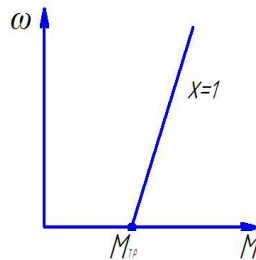


Механические характеристики рабочих машин при  $X = 1$ . Подставляя значение  $X = 1$  в формулу и выделяя составляющие, не зависящие от угловой скорости  $\omega$ , получаем

$$M_C = M_{TP} + (M_{C.НОМ} - M_{TP}) \left( \frac{\omega}{\omega_{НОМ.Р.М}} \right)^1 = M_{TP} + \frac{M_{C.НОМ} - M_{TP}}{\omega_{НОМ.Р.М}} \omega = A + B\omega,$$

$$\text{где } A = M_{TP}, \text{ а } B = \frac{M_{C.НОМ} - M_{TP}}{\omega_{НОМ.Р.М}}$$

К рабочим машинам, имеющим характеристику такого вида относят зерноочистительные машины и генераторы постоянного тока независимого возбуждения.

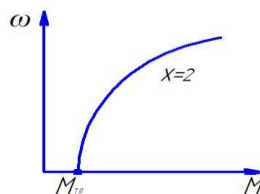


Механические характеристики рабочих машин при  $X = 2$ .

Данная характеристика имеет свое название – вентиляторная. Подставляя значение  $X=2$  в формулу получим

$$M_C = M_{TP} + (M_{C.НОМ} - M_{TP}) \left( \frac{\omega}{\omega_{НОМ.Р.М}} \right)^2 = M_{TP} + \frac{M_{C.НОМ} - M_{TP}}{(\omega_{НОМ.Р.М})^2} \omega^2 = A + B\omega^2,$$

$$\text{где } A = M_{TP}, \text{ а } B = \frac{M_{C.НОМ} - M_{TP}}{(\omega_{НОМ.Р.М})^2}$$



К рабочим машинам, имеющим механическую характеристику такого вида относят вентиляторы, центробежные насосы и сепараторы.

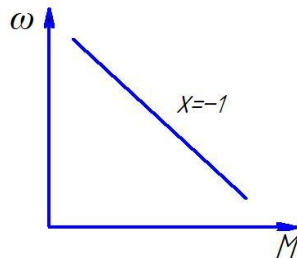
Механические характеристики рабочих машин при  $X = -1$

Подставляя значение  $X=-1$  в формулу получим

$$M_C = M_{TP} + (M_{C.HOM} - M_{TP}) \left( \frac{\omega}{\omega_{HOM.P.M}} \right)^{-1} = M_{TP} + \frac{M_{C.HOM} - M_{TP}}{\omega} \omega_{HOM.P.M} = A + \frac{\Gamma}{\omega},$$

$$\text{где } A = M_{TP}, \text{ а } \Gamma = (M_{C.HOM} - M_{TP}) \omega_{HOM.P.M}$$

К рабочим машинам, имеющим механическую характеристику такого вида, относят зерновые норрии.



## 2.2. Классификация механических характеристик электродвигателей по степени жесткости

Механической характеристикой электродвигателя называется зависимость его угловой скорости от вращающего момента:  $\omega_{\partial\partial} = f(M_{\partial\partial})$ .

Различают естественную и искусственные механические характеристики электрических двигателей.

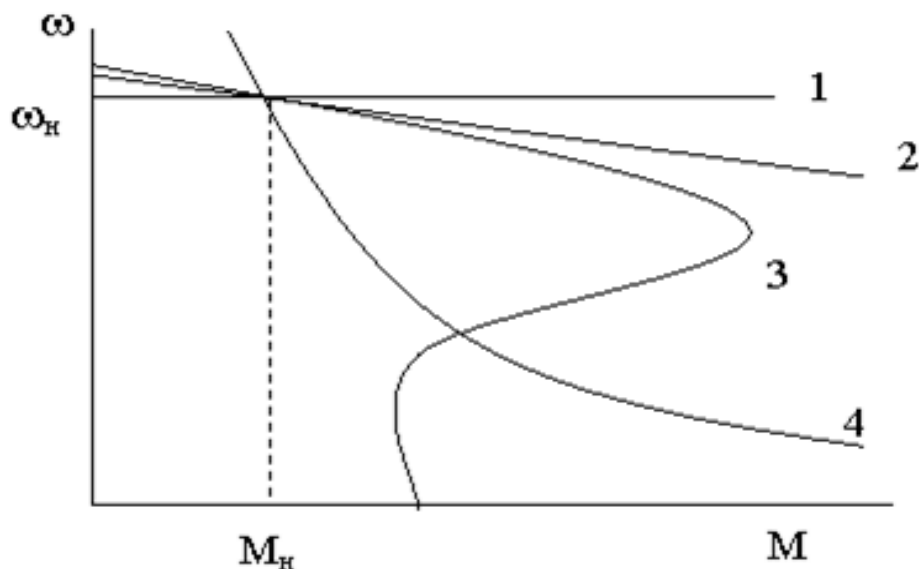
Механическую характеристику электрического двигателя считают естественной, если выполняются сразу три условия:

1. Электрический двигатель подключен к сети с номинальными параметрами;
2. Двигатель включен по схеме, на которую он разработан;
3. Отсутствуют добавочные сопротивления в обмотках двигателя.

При невыполнении хотя бы одного из перечисленных условий двигатель работает на искусственной механической характеристике.

Скоростная или электромеханическая характеристика - зависимость его угловой скорости от тока электродвигателя  $\omega = f(I_{\partial\partial})$ .

Типичные механические характеристики электродвигателей



Механические характеристики электродвигателей:  
 1-синхронного; 2-постоянного тока независимого возбуждения; 3-асинхронного;  
 4-постоянного тока последовательного возбуждения

Механические характеристики электродвигателей по степени жесткости можно разделить на четыре основные категории:

1. Абсолютно жесткая механическая характеристика  $\beta = \infty$  - это характеристика, при которой скорость с изменением момента остается неизменной. Такой характеристикой обладают синхронные двигатели (прямая 1).

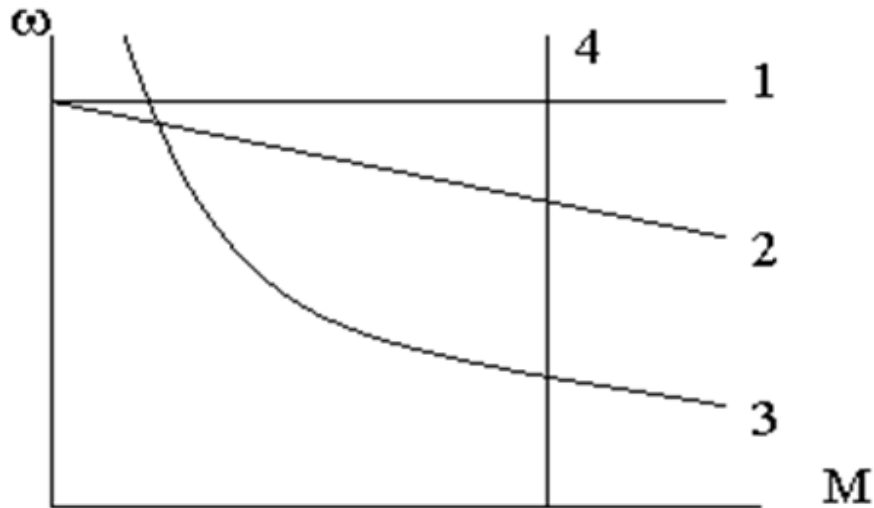
2. Жесткая механическая характеристика — это характеристика, при которой скорость с изменением момента хотя и уменьшается, но в малой степени. Жесткой механической характеристикой обладают двигатели постоянного тока независимого возбуждения, а также асинхронные двигатели в пределах рабочей части механической характеристики (кривая 2).

3. Мягкая механическая характеристика — это характеристика, при которой с изменением момента скорость значительно изменяется.

Такой характеристикой обладают двигатели постоянного тока последовательного возбуждения, особенно в зоне малых моментов (кривая 3).

Для этих двигателей жесткость не остается постоянной для всех точек характеристик.

4. Абсолютно мягкая механическая характеристика  $\beta = 0$  - это характеристика, при которой момент двигателя с изменением угловой скорости остается неизменным. Такой характеристикой обладают, например, двигатели постоянного тока независимого возбуждения при питании их от источника тока или при работе в замкнутых системах электропривода в режиме стабилизации тока якоря (прямая 4).



Механические характеристики электродвигателей по степени жесткости:  
 1 – абсолютно жесткая синхронного ЭД,  $\beta = \infty$ ; 2 – жесткая двигателя постоянного тока независимого возбуждения (такая же асинхронного двигателя на рабочем участке характеристики); 3- мягкая двигателя постоянного тока параллельного возбуждения; 4 – жесткость равна нулю, двигатель постоянного тока независимого возбуждения при питании от источника тока

### 2.3. Электродвигатели постоянного тока (регулирование скорости вращения, изменение направления вращения, тормозные режимы)

Двигатель постоянного тока (ДПТ) нашел широкое применение в различных областях деятельности человека. Начиная от использования тягового привода, применяемого в трамваях и троллейбусах, заканчивая приводом прокатных станков и подъемных механизмов, где требуется поддержание высокой точности скорости вращения.

Основные положительные особенности, которые отличают ДПТ от асинхронного двигателя:

- гибкие пусковые и регулировочные характеристики;
- двухзонное регулирование, которое позволяет достигать скорости вращения более 3000 об/мин.



Отрицательные черты:

- сложность в изготовлении и высокая стоимость;

○ в процессе работы необходимо постоянное обслуживание, так как коллектор и токосъемные щетки имеют небольшой ресурс работы.

Двигатель постоянного тока применяют только тогда, когда применение двигателя переменного тока невозможно или крайне нецелесообразно. В среднем, на каждые 70 двигателей переменного тока приходится всего лишь 1 ДПТ.

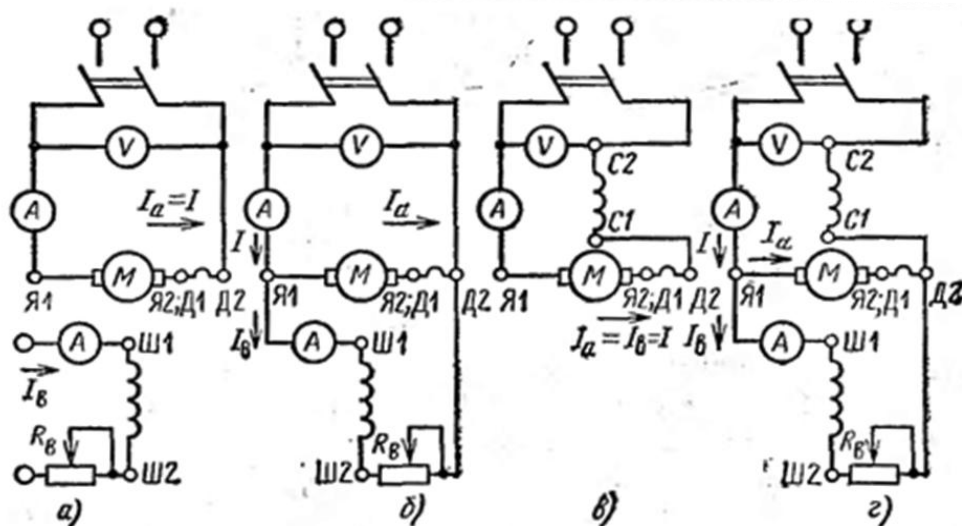
Двигатели постоянного тока классифицируют по магнитной системе статора:

- ДПТ с постоянными магнитами;
- ДПТ с электромагнитами:
- ДПТ с независимым возбуждением;
- ДПТ с последовательным возбуждением;
- ДПТ с параллельным возбуждением;
- ДПТ со смешанным возбуждением.

Свойства электродвигателей постоянного тока определяются в основном способом включения обмотки возбуждения. В зависимости от этого различают электродвигатели:

- с независимым возбуждением: обмотка возбуждения питается от постороннего источника постоянного тока (возбудителя или выпрямителя) ;
- с параллельным возбуждением: обмотка возбуждения подключена параллельно обмотке якоря;
- с последовательным возбуждением: обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря;
- со смешанным возбуждением: он имеет две обмотки возбуждения, одна подключена параллельно обмотке якоря, а другая — последовательно с ней.

Все эти электродвигатели имеют одинаковое устройство и отличаются лишь выполнением обмотки возбуждения. Обмотки возбуждения указанных электродвигателей выполняют так же, как у соответствующих генераторов.



Схемы двигателей постоянного тока с независимым (а), параллельным (б), последовательным (в) и смешанным (г) возбуждением

Основными характеристиками, по которым оцениваются рабочие свойства двигателей, являются:

скоростная характеристика (электромеханическая)  $\omega = f(I_a)$  -зависимость угловой скорости якоря от тока якоря;

моментная характеристика  $M=f(I_a)$  — зависимость электромагнитного момента от тока якоря;

механическая характеристика  $\omega=f(M)$  — зависимость угловой скорости якоря от электромагнитного момента.

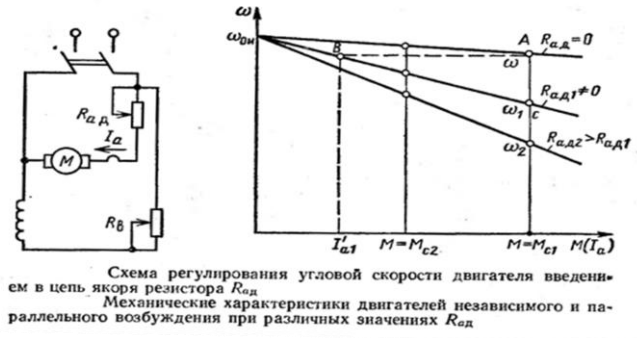
Скоростные и механические характеристики снимают при постоянном напряжении, подводимом к якорю, а для двигателей независимого, параллельного и смешанного возбуждения, кроме того, и при постоянном значении тока возбуждения  $I_b$ .

Двигатели постоянного тока находят применение в установках, где требуется регулировать скорость. Скорость двигателей возможно регулировать тремя способами:

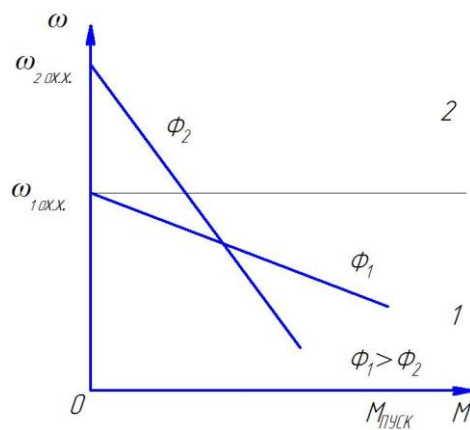
- изменением сопротивления в цепи якоря;
- изменением потока (тока возбуждения);
- изменением подводимого напряжения.

Регулирование скорости изменением сопротивления в цепи якоря.

При включении последовательно в цепь якоря регулировочного резистора  $R_{ад}$  увеличится падение напряжения, что повлечет за собой уменьшение наводимой в обмотке якоря ЭДС  $E=c \cdot \omega \cdot \Phi$ . При  $\Phi=const$  уменьшение ЭДС может произойти за счет снижения скорости.



Изменением потока (тока возбуждения) так называемое двухзонное регулирование. Обеспечивается за счет уменьшения тока возбуждения, что соответственно вызывает уменьшение магнитного потока.



Регулирование скорости изменением подводимого напряжения

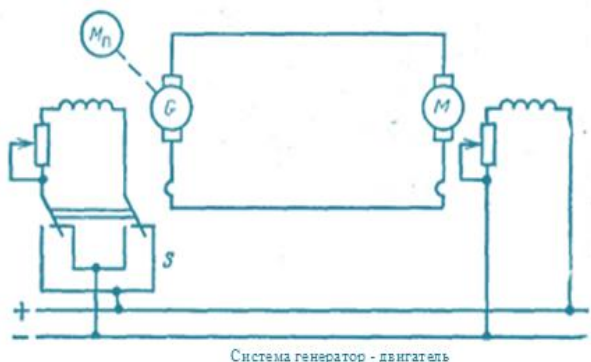
Скорость двигателей постоянного тока примерно пропорциональна приложенному напряжению  $U$ . Отсюда следует, что изменением подводимого напряжения, в сторону уменьшения от номинального, возможно осуществить регулирование скорости.

Реализация этого способа возможна в том случае, если двигатель получает питание от отдельного источника.

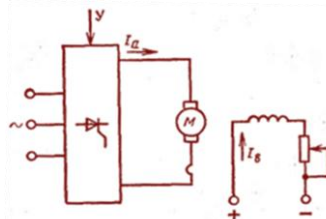
В качестве источника может быть использован генератор постоянного тока независимого возбуждения. Такие системы, состоящие из генератора и подключенного к нему двигателя, называются системой *генератор—двигатель*, или системой Г—Д.

Якорь генератора соединяется якорем двигателя непосредственно без всяких пусковых и регулировочных реостатов. Обмотки возбуждения генератора и двигателя питаются от отдельного источника.

Генератор вращается с постоянной скоростью каким либо вспомогательным двигателем, чаще всего электрическим двигателем переменного тока.

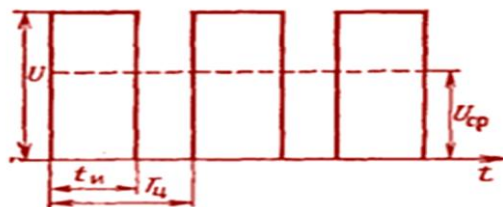


В последнее время широкое применение получили системы, в которых генератор заменяется полупроводниковым преобразователем, преобразующим переменное напряжение сети в регулируемое выпрямленное напряжение.

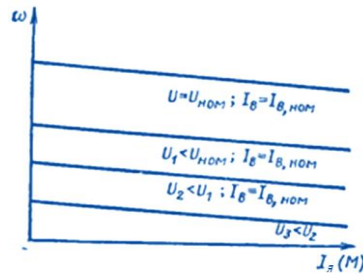


По сравнению с системой Г—Д такие установки имеют *меньшую массу и больший КПД*.

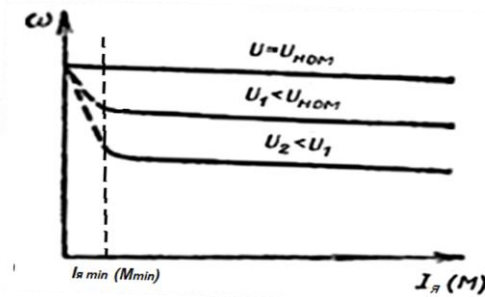
Для регулирования напряжения находят также применение системы, в которых постоянное по амплитуде и направлению напряжение периодически подается на якорь в виде отдельных импульсов.



*Скоростные и механические характеристики* двигателя независимого возбуждения в системе Г—Д представляют собой параллельные друг другу линии, поскольку при одном и том же токе якоря падение напряжения  $I_a \cdot R_a$  и размагничивающее действие реакции якоря остаются одинаковыми для всех характеристик.



В системах с управляемым преобразователем и с импульсным управлением характеристики будут аналогичными с той разницей, что при малых моментах и токах якоря вследствие появления прерывистых токов в цепи якоря они будут иметь крутой подъем.



За счет изменения подводимого напряжения можно получить диапазон регулирования 10:1, который может быть увеличен при изменении тока возбуждения двигателя в среднем в отношении 2:1.

Таким образом, общий диапазон регулирования достигает 20:1.

Автоматическая компенсация падения напряжения позволяет поддерживать скорость постоянной и поэтому значительно расширяет пределы регулирования.

В системах с применением автоматического регулирования общий диапазон регулирования скорости достигает 10000:1.

Для двигателей последовательного возбуждения также применяется регулирование скорости изменением подводимого напряжения.

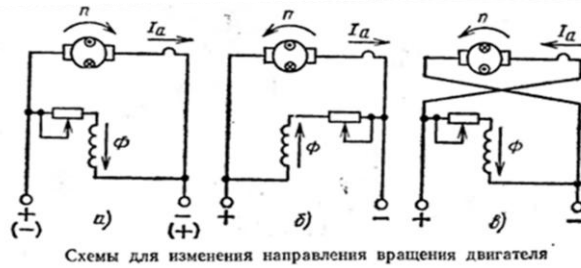
Для этого они подключаются к отдельному генератору или полупроводниковому преобразователю.

Скорость таким способом регулируется вниз от основной, и характеристики при различных напряжениях будут параллельны друг другу.

Направление вращения якоря можно изменить, изменив направление потока или направление тока в обмотке якоря.

Изменение направления тока одновременно как в обмотке возбуждения, так и в обмотке якоря не даст изменения направления вращения. Не даст изменения направления вращения и изменение полярности подводимого напряжения к двигателю, так как при этом также одновременно изменятся направления тока якоря и потока возбуждения.

При изменении направления магнитного потока в двигателях смешанного возбуждения, для того чтобы не нарушать согласное действие обмоток, следует менять между собой подводящие концы как у параллельной, так и у последовательной обмоток.

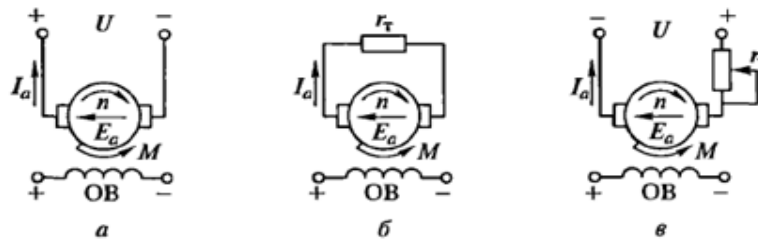


Схемы для изменения направления вращения двигателя

Для того чтобы быстро остановить и быстро замедлить скорость механизма, приводимого во вращение электродвигателем, наряду с механическими применяют и электрические способы торможения.

Сущность электрических способов торможения состоит в том, что электрическая машина в этот период из двигательного режима переводится в генераторный и, следовательно, создает электромагнитный момент, направленный против движения.

Различают три способа электрического торможения; динамическое, рекуперативное, противотключением. При динамическом торможении машина работает автономным генератором, при рекуперативном — генератором, работающим параллельно с сетью, и, наконец, при торможении противотключением — генератором, включенным последовательно с сетью.



Тормозные режимы двигателя постоянного тока независимого (параллельного) возбуждения:

*a* — генераторный рекуперативный; *б* — динамический; *в* — противотключением

### **Генераторное рекуперативное торможение**

Этот режим наступает, когда частота вращения якоря превышает частоту вращения холостого хода  $n_0$ .

В этих условиях ЭДС машины превышает напряжение питающей сети, при этом ток якоря, а следовательно, и электромагнитный момент меняют свое направление на противоположное. В итоге машина постоянного тока переходит в генераторный режим и вырабатываемую при этом электроэнергию отдает в сеть.

Электромагнитный момент двигателя становится тормозящим и противодействует внешнему вращающему моменту, создаваемому силами инерции вращающегося с прежней скоростью якоря. Этот процесс торможения будет продолжаться до тех пор, пока частота вращения якоря, уменьшаясь, не достигнет значения  $n_0$ .

Таким образом, для перехода двигателя в режим генераторного рекуперативного торможения не требуется изменений в схеме включения двигателя.

**Генераторное рекуперативное торможение** — наиболее экономичный вид торможения, так как он сопровождается возвратом энергии в сеть. Применение этого способа торможения является эффективным энергосберегающим средством в электроприводе. Он целесообразен в электротранспортных средствах, работа которых связана с частыми остановками и движением под уклон.

В этом случае кинетическая энергия движения транспортного средства (трамвай, троллейбус, электропоезд) преобразуется в электрическую энергию и возвращается в сеть.

У двигателей последовательного возбуждения рекуперативное торможение осуществить невозможно, так как у них скорость идеального холостого хода  $\omega_{ох}=\infty$  и, следовательно, ЭДС не могут быть больше приложенного напряжения.

### ***Динамическое торможение***

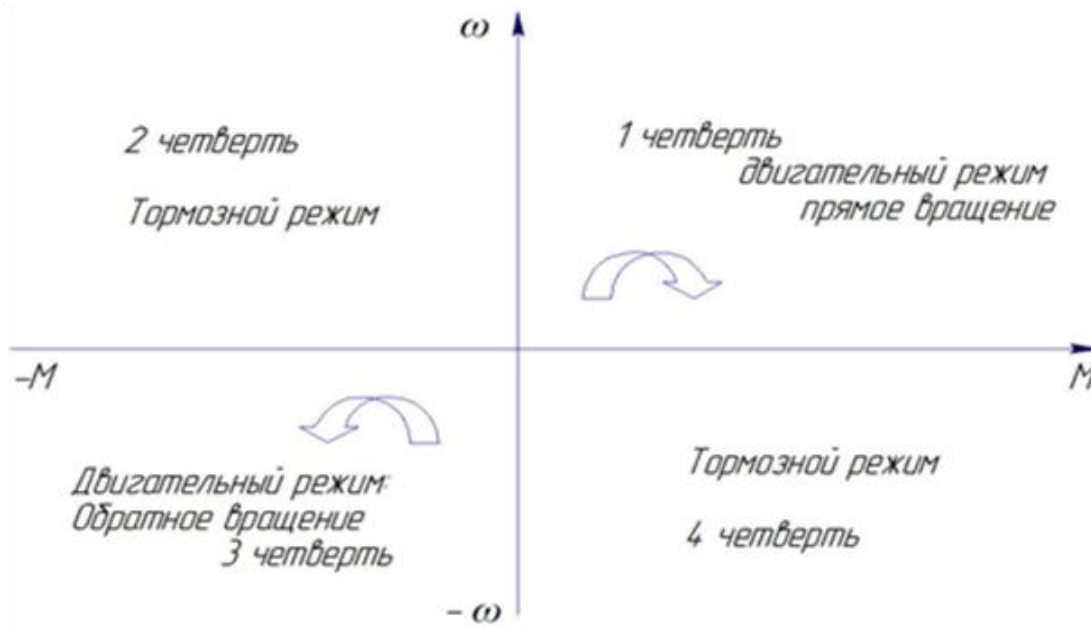
Необходимость в таком торможении возникает в том случае, когда после отключения двигателя от сети его якорь под действием кинетической энергии движущихся масс электропривода продолжает вращаться. Если при этом обмотку якоря, отключив от сети, замкнуть на резистор  $r_T$ , то двигатель перейдет в генераторный режим (***обмотка возбуждения должна оставаться включенной в сеть***).

Вырабатываемая при этом электроэнергия не возвращается в сеть, как это происходит при рекуперативном торможении, а преобразуется в теплоту, которая выделяется в сопротивлении.

Процесс торможения продолжается до полной остановки якоря ( $n = 0$ ).

### ***Торможение противовключением***

Допустим, что двигатель работает в основном (двигательном) режиме с номинальной нагрузкой. При отключении двигателя от сети вращающий момент  $M = 0$ , но якорь двигателя за счет кинетической энергии вращающихся масс электропривода некоторое время будет продолжать вращение, т.е. произойдет выбег двигателя.



Чтобы уменьшить время выбега двигателя, применяют торможение противовключением. С этой целью изменяют полярность напряжения на клеммах обмотки якоря (полярность клемм обмотки возбуждения должна остаться прежней) и напряжение питания обмотки якоря становится отрицательным ( $-U$ ).

Но якорь двигателя под действием кинетической энергии вращающихся масс электропривода сохраняет прежнее (положительное) направление вращения, и так как направление магнитного потока не изменилось, то ЭДС якоря также не меняет своего направления.

## 2.4. Асинхронные электродвигатели (конструкция, способы пуска, регулирование частоты вращения, способы торможения)

Асинхронные двигатели состоят из двух частей: неподвижной части — статора и вращающейся части — ротора.

Сердечник статора, представляющий собой полый цилиндр, набирают из отдельных листов, которые штампуют из электротехнической стали толщиной обычно 0,5 мм. Перед сборкой сердечника листы изолируют друг от друга оксидированием или лакировкой или используют сталь, выпускаемую с электроизоляционным покрытием. На внутренней поверхности статора выштамповывают пазы, в которые укладывают обмотку. Сердечник статора закрепляют в корпусе.



Роторы асинхронных двигателей выполняют двух видов: с короткозамкнутой обмоткой и с фазной обмоткой.

Первый вид двигателей называют короткозамкнутыми асинхронными двигателями, а второй — асинхронными двигателями с фазным ротором или асинхронными двигателями с контактными кольцами.

Для рассматриваемого двигателя характерной особенностью является несинхронное (асинхронное) вращение его ротора с магнитным полем.

Отсюда и его название — асинхронный двигатель. Разницу между скоростями или частотами вращения ротора и поля принято оценивать величиной, называемой скольжением:

$$S = (\omega_1 - \omega) / \omega_1 = (n_1 - n) / n_1$$

где  $\omega_1 = 2\pi f_1 / p = 2\pi n / 60$ ,  $\omega = 2\pi n / 60$  — угловые скорости поля и ротора

Иногда скольжение выражают в процентах, тогда

$$S = \frac{(\omega_1 - \omega)}{\omega_1} 100 = \frac{n_1 - n}{n_1} 100$$

Генераторный режим возникает в том случае, когда ротор с помощью постороннего двигателя будет вращаться в направлении поля со скоростью, большей скорости поля. Скольжение в этом режиме будет отрицательным.

Поэтому при работе асинхронной машины в генераторном режиме скольжение находится в пределах от  $s=0$  до  $s=-\infty$ .

Если ротор под действием посторонних сил начнет вращаться в сторону, противоположную вращению поля, то возникает режим электромагнитного тормоза.

Так как скорость ротора отрицательна, то скольжение в этом режиме будет  $s > 1$ . Режим электромагнитного тормоза начинается при  $\omega=0$  и может продолжаться теоретически до  $\omega=-\infty$ , при этом скольжение изменяется от 1 до  $+\infty$ .

Таким образом, пределы изменения скольжения в асинхронной машине от  $s=\infty$  до  $s=-\infty$ . На рисунке дана шкала скольжений, а также показаны направления скоростей ротора и поля для различных режимов работы машины.



Прямой пуск благодаря своей простоте является основным способом пуска короткозамкнутых трехфазных асинхронных двигателей. При прямом пуске обмотка статора непосредственно, без всяких пусковых устройств, подключается к сети. Прямой пуск протекает быстро. Его продолжительность составляет доли секунды у двигателей небольшой мощности и несколько секунд у более мощных двигателей.

Ограничение для применения прямого пуска обычно накладывает сеть. Если в сети от пусковых токов включаемого двигателя возникают большие падения напряжения, превышающие 10—15%, то этот двигатель прямым пуском в данную сеть включать не рекомендуется. Необходимо принять меры, уменьшающие пусковой ток.

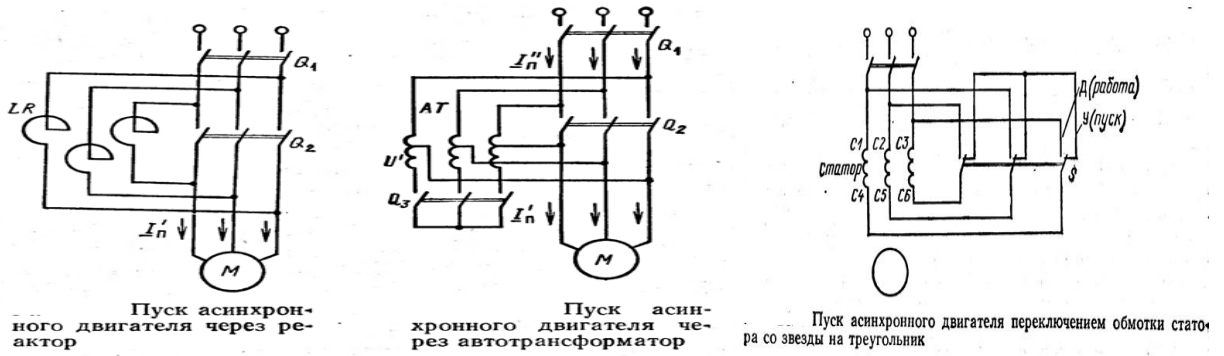
При частых включениях двигателя, исходя из допустимого нагрева обмоток статора, число прямых пусков в час ограничивается.

### **Пуск асинхронных КЗ двигателей при пониженном напряжении**

В тех случаях, когда из-за большого падения напряжения в сети прямой пуск для короткозамкнутых двигателе недопустим, применяют подключение их обмоток статора в первый момент пуска на пониженное напряжение, при этом пусковой ток уменьшается, что приводит к снижению падения напряжения в сети.

Недостатком такого способ пуска является снижение начального пускового момента пропорционально квадрату напряжения. Поэтому этот способ пуска применяется в тех случаях, когда отсутствует нагрузочный момент на валу или когда этот момент невелик.

Для снижения подводимого к статору двигателя напряжения используются следующие схемы:



Возможные способы регулирования угловой скорости в асинхронных двигателях вытекают из формулы

$$\omega = \omega_1(1 - s)$$

Согласно скорости ротора двигателя можно регулировать изменением угловой скорости магнитного поля  $\omega_1$  или скольжения  $s$ . Скорость магнитного поля  $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$  зависит от частоты питающего напряжения  $f_1$  и числа пар полюсов  $p$ .

Изменение скольжения может быть получено за счет изменения электрических потерь в цепи ротора (регулированием подводимого напряжения или включением в цепь ротора добавочного резистора) или введения добавочной ЭДС в эту цепь.

Все указанные способы регулирования скорости находят практическое применение.

### **Регулирование угловой скорости изменением частоты питающей сети**

Из всех возможных способов регулирования этот способ позволяет плавно изменять угловую скорость в наиболее широком диапазоне (до 10:1, а иногда и более). Для его осуществления требуется, чтобы двигатель (или группа двигателей) получал питание от отдельного источника.

В качестве такого источника могут быть использованы электромеханические или статические преобразователи частоты.

В связи с развитием полупроводниковой техники в настоящее время наиболее предпочтительными являются полупроводниковые статические преобразователи.

В зависимости от требований к механическим характеристикам асинхронного двигателя при частотном регулировании одновременно с изменением частоты  $f_1$  приходится по определенному закону изменять подводимое к обмотке статора напряжение  $U_1$ .

Закон изменения  $U_1$  при регулировании частоты  $f_1$ :

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} = \sqrt{\frac{M_{\max(2)}}{M_{\max(1)}}}$$

Если при регулировании частоты вращения требуется постоянство момента механических характеристик, то:

$$U_{1(2)} / U_{1(1)} = f_{1(2)} / f_{1(1)} = \text{const}$$

$$U_{1(1)} / f_{1(1)} = U_{1(2)} / f_{1(2)} = \text{const}$$

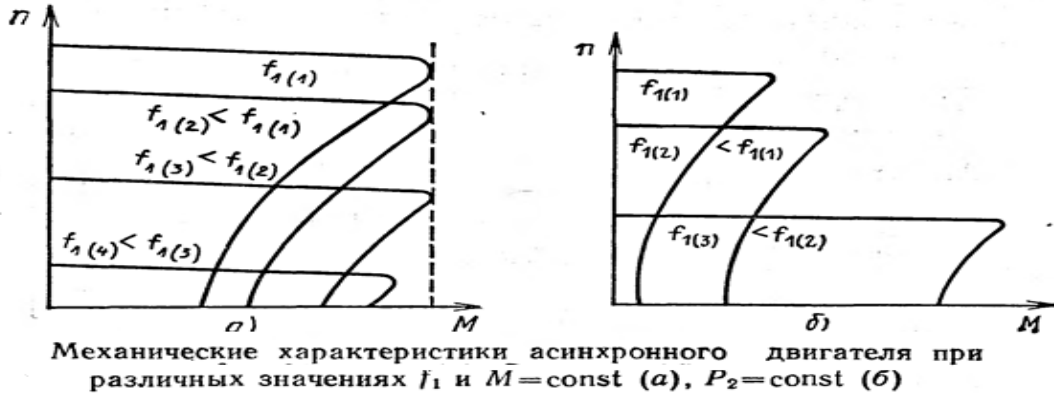
Если регулирование происходит с постоянной механической мощностью, то:

$$M_{\max(2)} \omega_{(2)} / (M_{\max(1)} \omega_{(1)}) = \text{const}$$

$$M_{\max(2)} / M_{\max(1)} = \omega_{(1)} / \omega_{(2)} = f_{1(1)} / f_{1(2)}$$

С учетом выше изложенного, получим закон изменения напряжения при регулировании с постоянной мощностью:

$$U_{1(2)} / U_{1(1)} = \sqrt{f_{1(2)} / f_{1(1)}}$$

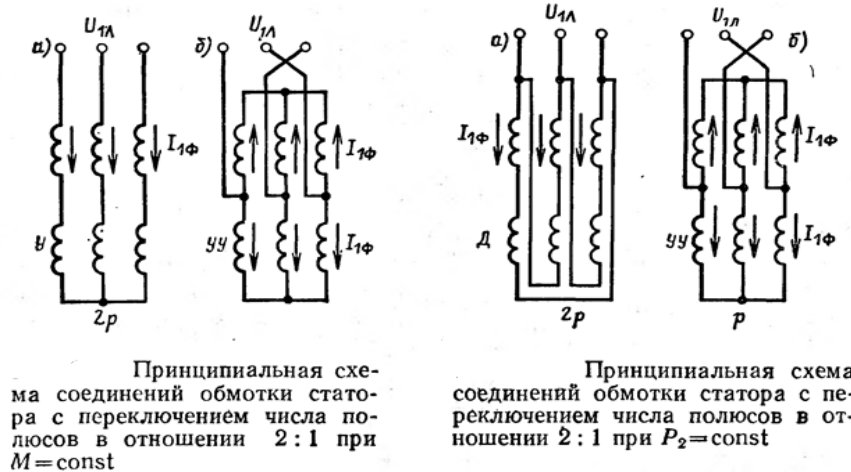


При частотном регулировании асинхронных двигателей их энергетические характеристики остаются практически неизменными. Поэтому данный способ регулирования является экономичным. Недостаток – громоздкость и высокая стоимость источника питания.

Регулирование угловой скорости изменением числа пар полюсов

Асинхронные двигатели с переключением пар полюсов называют многоскоростными. Они выпускаются на две, три и четыре скорости.

Схемы переключения пар полюсов разделены на схемы регулирования с постоянным моментом и постоянной мощностью.

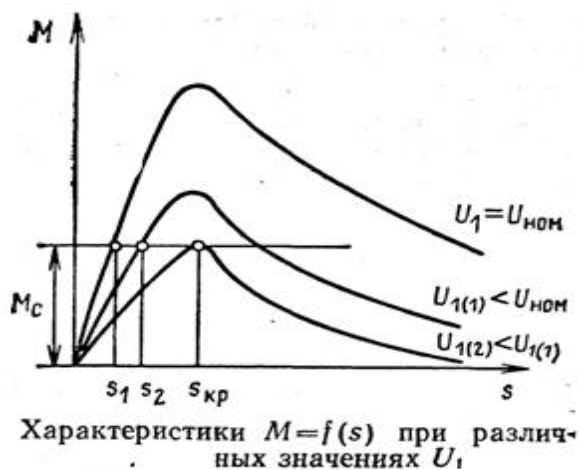


Многоскоростные двигатели применяются для привода станков, вентиляторов, насосов и т.д.

Регулирование угловой скорости изменением подводимого напряжения

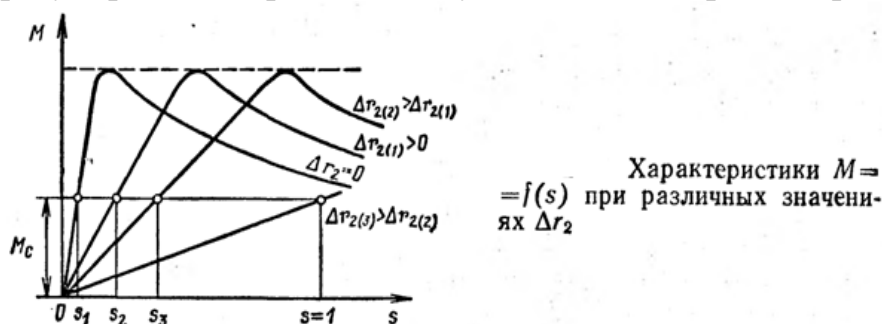
Изменение подводимого напряжения чаще всего осуществляется с помощью последовательно включенных с двигателем реакторов, подмагничиваемых постоянным током, или за счет импульсной подачи напряжения на обмотки статора. При подмагничивании меняется индуктивное сопротивление реактора, что приводит к изменению падения напряжения в нем, а следовательно, и напряжения, подводимого к двигателю.

Рассматриваемый способ регулирования угловой скорости находит применение только для двигателей небольшой мощности.



Регулирование угловой скорости включением в цепь ротора добавочного резистора

Этот способ регулирования применяется у двигателей с фазным ротором.



Асинхронные двигатели могут работать в следующих тормозных режимах:

- генераторное (рекуперативное) торможение;
- динамическое торможение;
- торможение противовключением за счет изменения полярности напряжения на зажимах работающего двигателя или за счет введения в цепь ротора большого сопротивления.

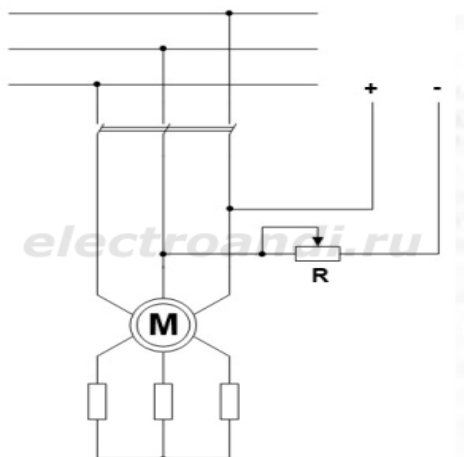
**Генераторное (рекуперативное) торможение** заключается в том, что рабочая машина разгоняет двигатель до скорости выше синхронной. При этом скорости двигателя и рабочей машины по направлению совпадают.

Чтобы наступило рекуперативное торможение, нужно чтобы частота вращения ротора превысила синхронную частоту вращения. В таком случае двигатель начнет отдавать энергию в сеть, то есть станет асинхронным генератором. При этом электромагнитный момент двигателя становится отрицательным, и оказывает тормозной эффект.

### **Динамическое торможение**

Если отключить двигатель от сети переменного тока и подключить его к источнику постоянного тока, то произойдет динамическое торможение. Обмотка статора, при протекании постоянного тока, создаст неподвижное магнитное поле. При вращении в таком поле, в роторе будет наводиться ЭДС, под действием которой будет протекать ток. Этот ток будет взаимодействовать с неподвижным полем статора и созда-

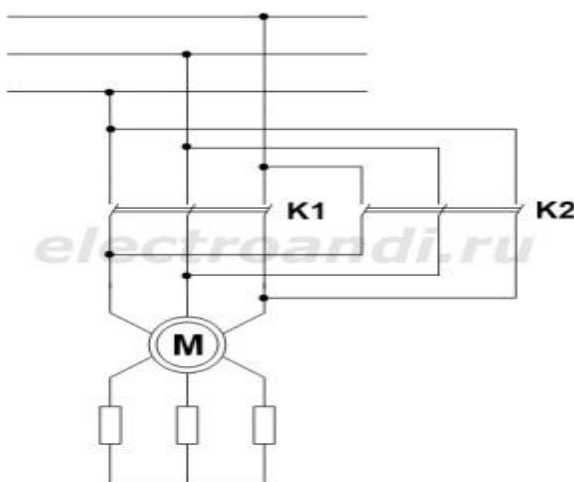
вать тормозной момент, который будет направлен против направления вращения ротора.



### ***Торможение противовключением***

Торможение противовключением применяется для быстрой остановки двигателя. Оно может быть осуществлено несколькими способами.

В первом способе, в работающем двигателе, меняют две фазы местами, с помощью выключения контактора К1 и включения К2. При этом направление вращения магнитного поля статора меняется на противоположное. Возникает большой тормозной момент, и двигатель быстро останавливается. Но для того чтобы ограничить большие токи в момент увеличения тормозного момента, необходимо вводить в обмотку статора или ротора дополнительное сопротивление.



Во втором способе двигатель используют как тормоз для груза. То есть, если груз спускается вниз, то двигатель должен работать, наоборот, на подъем. Для этого в цепь ротора двигателя вводится большое добавочное сопротивление. Но его пусковой момент оказывается меньше чем момент нагрузки, и двигатель работает при некоторой небольшой скорости, тем самым обеспечивая плавный спуск.

По сути, торможение противовключением осуществляется по схеме реверса двигателя.

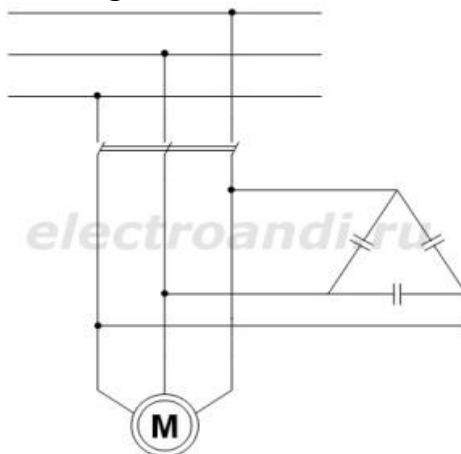
### ***Торможение при самовозбуждении***

Если питание двигателя отключить, то его магнитное поле затухнет только через небольшой промежуток времени. Если в этот момент подключить к статорной обмотке двигателя батарею конденсаторов, то энергия магнитного поля будет переходить сна-

чала в заряд конденсаторов, а затем снова возвращаться в обмотку статора. При этом возникнет тормозной момент, который остановит двигатель. Такое торможение часто называют конденсаторным.

Величина тормозного момента будет зависеть от емкости конденсаторов, чем больше емкость, тем больше момент

Конденсаторы могут быть включены постоянно, а могут отключаться во время работы двигателя с помощью контактора.



Можно обойтись и без конденсаторов, просто замкнув с помощью ключей SA, обмотку статора по схеме “звезда”, предварительно отключив ее от сети с помощью контактора К. Тогда торможение произойдет значительно быстрее, за счет остаточного магнетизма двигателя. Такое торможение еще называется магнитным торможением.

## 2.5 Синхронные двигатели (конструкция, механическая и угловая характеристика)

Синхронная машина имеет две обмотки. Одна обмотка подключается к источнику постоянного тока и создает основное магнитное поле машины. Эта обмотка называется обмоткой возбуждения. Иногда у машин небольшой мощности обмотка возбуждения отсутствует, а магнитное поле создается постоянными магнитами. Другая обмотка является обмоткой якоря и состоит из одной, двух или трех фаз. Наибольшее распространение в синхронных машинах имеют трехфазные обмотки якоря. В обмотке якоря индуцируется основная ЭДС машины.

В синхронных машинах наибольшее распространение получила конструкция, когда обмотка якоря располагается на статоре, а обмотка возбуждения — на роторе. Иногда в синхронных машинах небольшой мощности применяется обратное исполнение, когда обмотка якоря располагается на роторе, а обмотка возбуждения — на полюсах статора.

Синхронные двигатели начинают широко внедрять в строительное производство, применяя их для привода машин средней и большой мощности, не требующих регулирования скорости: компрессоров, насосов, камнедробилок, экскаваторов.

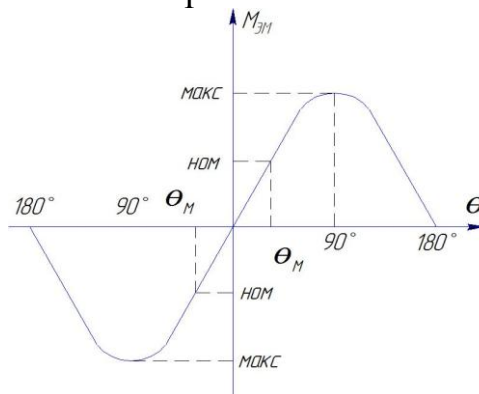
Синхронный двигатель имеет неизменную скорость вращения, поэтому его механическая характеристика представляет прямую линию, параллельную оси абсцисс.

Синхронный двигатель обладает абсолютно жесткой механической характеристикой. Однако его момент не может иметь беспредельно большого значения. При не-

котором предельном или максимальном значении нагрузочного момента синхронный двигатель выходит из устойчивой синхронной работы и останавливается.

При увеличении нагрузки синхронного двигателя ротор его начинает отставать от поля статора, угол внутреннего сдвига фаз  $\Theta$  при этом возрастает. Увеличению угла  $\Theta$  соответствует рост момента синхронного двигателя.

Однако при возрастании до значений, больших момента начинает уменьшаться и становится возможным выпадение из синхронизма и остановка двигателя.



Угловая характеристика

Торможение синхронных двигателей противовключением практически не применяется из-за больших толчков тока и усложненной аппаратуры управления. Вместо этого обычно применяют динамическое торможение.

При динамическом торможении синхронного двигателя к кольцам ротора подводится постоянный ток, а обмотка статора замыкается на сопротивление. Механические характеристики синхронного двигателя в этом режиме будут подобны характеристикам асинхронного двигателя при динамическом торможении.

Коэффициент полезного действия синхронных двигателей и надежность их выше, чем асинхронных, вследствие увеличенного зазора между статором и ротором и меньшей чувствительности к изменениям напряжения сети.

Последнее обстоятельство вызывается тем, что момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения сети, а момент синхронного — первой степени напряжения.

## Лекция 3

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ЗАГРУЗКА И ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

- 3.1. Классификация изоляционных материалов.
- 3.2. Нагрев и охлаждение электродвигателя.
- 3.3. Классификация режимов работы электроприводов.
- 3.4. Методы определения мощности электродвигателя при различных режимах работы.

#### 3.1. Классификация изоляционных материалов.

Стойкость изоляции электротехнических изделий зависит от многих факторов, таких как температура, электрические и механические воздействия, вибрация, агрессивность среды, химические воздействия, влажность, загрязнение и радиационное излучение. Поскольку для электротехнических изделий доминирующим фактором старения электроизоляционных материалов и систем изоляции является температура, для оценки стойкости электрической изоляции электротехнических изделий к воздействию температуры приняты классы нагревостойкости.

**Классы нагревостойкости и соответствующие им температуры приведены в таблице**

| Обозначение класса нагревостойкости | Температура, °C |
|-------------------------------------|-----------------|
| Y                                   | 90              |
| A                                   | 105             |
| E                                   | 120             |
| B                                   | 130             |
| F                                   | 155             |
| H                                   | 180             |
| 200                                 | 200             |
| 220                                 | 220             |
| 250                                 | 250             |

\*Температура выше 250°C должна повышаться на интервал в 25°C с присвоением соответствующих классов.

Использование буквенных обозначений необязательно. Но следует придерживаться вышеприведенного соответствия между буквенными обозначениями и температурами.

Класс нагревостойкости электротехнического изделия отражает максимальную рабочую температуру, свойственную данному изделию при номинальной нагрузке и других условиях.

При нормальных условиях эксплуатации можно получить удовлетворительный экономичный срок службы для таких электротехнических изделий, как вращающиеся машины, трансформаторы и т.д., спроектированных и изготовленных в соответствии со стандартами, основанными на температурах, делая необходимые допуски для учета факторов, характерных для данного изделия.

Температура, приведенная в настоящем стандарте, является фактической температурой изоляции, но не превышением температуры электротехнического изделия. В стандартах на электротехнические изделия обычно нормируют величину превышения температуры, а не фактическую температуру. При разработке таких стандартов, устанавливая методы измерения и допустимое превышение температуры, следует учитывать такие факторы, как конструкция, температурная проводимость и толщина изоляции, доступность изолированных частей, метод вентиляции, характеристики нагрузки и т.д.

Для изоляции электрических машин применяют:

- хлопчатобумажные и шелковые ткани, пряжу, бумагу и волокнистые органические материалы, не пропитанные изолирующими составами (класс нагревостойкости У);
- те же материалы, пропитанные (класс А);
- синтетические органические пленки (класс Е);
- материалы из асбеста, слюды, стекловолокна с органическими связующими веществами (класс В);
- те же, но с синтетическими связующими и пропитывающими веществами (класс F);
- те же материалы, но с кремнийорганическими связующими и пропитывающими веществами (класс H);
- слюду, керамику, стекло, кварц без связующих веществ или с неорганическими связующими составами (класс С).

### 3.2. Нагрев и охлаждение электродвигателя

При работе двигателя в нем возникают потери энергии (и мощности), что вызывает его нагрев. Часть потребляемой электродвигателем мощности расходуется на нагрев его обмоток, на нагрев магнитопровода от гистерезиса и вихревых токов, на трение в подшипниках и на трение о воздух. Потери на нагрев обмоток, пропорциональные квадрату тока, называют **переменными** ( $\Delta P_{\text{пер}}$ ). Остальные потери в двигателе от его нагрузки зависят мало и их условно называют **постоянными** ( $\Delta P_{\text{пос}}$ ).

Потери мощности

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1(1 - \eta)$$

где  $P_1$  – мощность, подводимая к электродвигателю;

$P_2$  – мощность на валу;

$\eta$  – КПД двигателя.

Допустимый нагрев электродвигателя определяется наименее термостойкими материалами его конструкции. Таким материалом является изоляция его обмотки.

Расчетная температура  $t_0$  окружающей среды равна  $40^\circ \text{C}$ . При этой температуре определяют значения номинальной мощности электродвигателей. Превышение температуры электродвигателя над температурой окружающей среды называют **перегревом**:

$$\tau = t - t_0$$

Расширяется применение синтетических изоляций. В частности, кремний органические изоляции обеспечивают высокую надежность электрических машин при эксплуатации в тропических условиях.

Тепло, выделяемое в различных частях электродвигателя, в различной степени влияет на нагрев изоляции. Кроме того, между отдельными частями электродвигателя происходит теплообмен, характер которого изменяется в зависимости от условий нагрузки.

Различный нагрев отдельных частей электродвигателя и теплообмен между ними затрудняет аналитическое исследование процесса. Поэтому для упрощения условно принимают, что электродвигатель представляет собой однородное в тепловом отношении и бесконечно теплопроводное тело. Обычно считают, что тепло, отдаваемое электродвигателем в окружающую среду, пропорционально перегреву. Излучением тепла при этом пренебрегают, так как абсолютные температуры нагрева двигателей невелики. Рассмотрим процесс нагрева электродвигателя при указанных допущениях.

Двигатель будет работать в допустимом тепловом режиме при выполнении условия

$$\tau_{\text{макс}} \leq \tau_{\text{доп}} \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{макс}}$  – максимальный перегрев двигателя при работе;

$\tau_{\text{доп}}$  – допустимый перегрев двигателя, определяемый классом его изоляции.

Проверка условия может быть выполнена прямым методом, предусматривающим построение кривой перегрева за цикл работы электродвигателя.

В связи с трудностью проведения точного анализа тепловых процессов, происходящих в электродвигателе, принимают следующие допущения:

- двигатель рассматривается как однородное тело, имеющее одинаковую температуру во всех точках;

- теплоотдача во внешнюю среду пропорциональна первой степени разности температур двигателя и окружающей среды;
- в процессе нагрева двигателя температура окружающей среды не изменяется;
- теплоемкость и коэффициент теплоотдачи двигателя не зависят от его температуры.

Для принятых допущений изменение перегрева двигателя во времени составит:

$$\tau = (\tau_{нач} - \tau_{уст})e^{-t/T_H} + \tau_{уст} \quad (2)$$

где  $\tau_{уст} = \Delta P/A$  – установившееся превышение температуры двигателя, °С;

$\Delta P$  – потери мощности в двигателе, Вт;

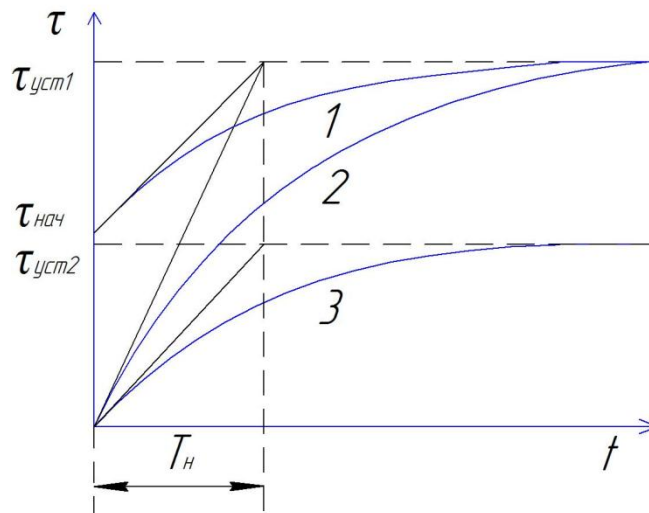
$A$  – тепловая отдача двигателя – количество теплоты отдаваемое двигателем в окружающую среду за 1 с при разности температур двигателя и окружающей среды 1 °С, Дж/(с°С);

$T_H = C/A$  – постоянная времени нагрева двигателя, с;

$C$  – теплоемкость двигателя – количество теплоты, необходимое для повышения температуры двигателя на 1 °С, Дж/°С.

Физический смысл постоянной времени нагрева  $T_H$  состоит в том, что она равна времени нагрева двигателя до установившегося перегрева  $\tau_{уст}$ , если бы отсутствовала отдача теплоты окружающей среде.

Величина постоянной времени нагрева определяется размерами электродвигателя и формой защиты его от воздействий окружающей среды. У открытых и защищенных электродвигателей малой мощности постоянная времени нагрева равна 20—30 мин. У закрытых электродвигателей большой мощности она доходит до 2—3 ч.



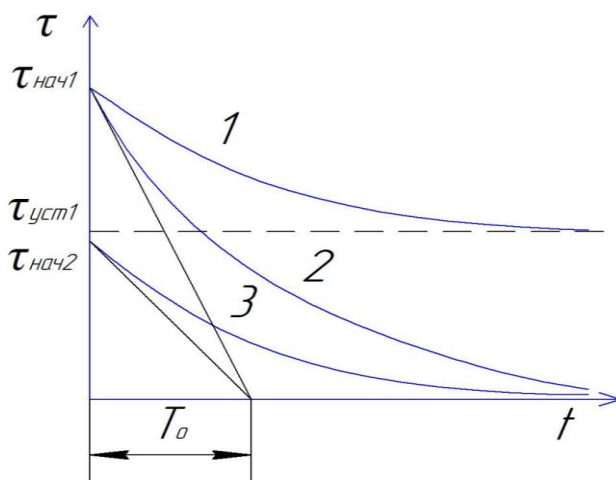
Кривые нагрева двигателя

На рисунке приведены кривые нагрева электродвигателя при разных  $\tau_{нач}$  и  $\Delta P$ . При указанных допущениях нагрев происходит по экспоненциальному закону. Время достижения перегревом своего установившегося значения при экспоненциальном

законе его изменения теоретически бесконечно большое. Практически процесс нагрева можно считать установившимся, когда превышение температуры двигателя достигает  $0,95 \dots 0,98 \tau_{уст}$  за время  $3 \dots 4 T_n$ .

В зависимости от объема двигателей постоянные времени их нагрева находятся в пределах от нескольких минут до нескольких часов. Большим потерям мощности в электродвигателе соответствует большее значение установившегося перегрева (кривые 1 и 2 на рисунке  $\Delta P_1$ , а кривая 3 –  $\Delta P_2 < \Delta P_1$ ).

Выражение (2) можно использовать для исследования процессов нагрева и охлаждения двигателя при подстановке соответствующих значений  $\tau_{нач}$ ,  $\tau_{уст}$  и постоянных времени нагрева  $T_n$  или охлаждения  $T_o$ . Следует отметить, что постоянная времени охлаждения одного и того же двигателя больше постоянной времени нагрева из-за ухудшения теплоотдачи при неподвижном роторе.



Кривая охлаждения двигателя

Охлаждение двигателя сопровождается снижением перегрева по кривой 1 при уменьшении нагрузки и по кривым 2 и 3 при отключении двигателя от сети.

Проверку электродвигателей по нагреву проводят следующим образом. По известном графику нагрузки определяют потери мощности на отдельных участках цикла и находят значение установившегося перегрева на каждом участке по формулам  $\tau_{уст} = \Delta P / A_1$ . Далее для участков работы и паузы двигателя определяют постоянные времени нагрева и охлаждения. Затем по формуле 1 для каждого участка цикла строят кривую нагрева. При этом начальным значением  $\tau_{нач.i}$  на каждом следующем участке является его конечное значение  $\tau_{нач.i-1}$  на предыдущем участке.

Из построенной таким образом кривой перегрева находят максимальное значение и проверяют выполнение условия 1.

Прямой метод проверки двигателей по нагреву требует знания теплоотдачи  $A$  и теплоемкости  $C$ , что затрудняет его использование; в справочниках такие параметры не указываются. В связи с этим обычно проверка ЭД по нагреву производится косвенными методами – средних потерь и эквивалентных величин.

Как было указано выше, изложенная теория нагрева электрических двигателей является приближенной и основана на грубых допущениях. Поэтому кривая нагрева, снятая экспериментально, существенно отличается от теоретической. Поэтому все расчеты, производимые по уравнению следует рассматривать как приближенные. В этих расчетах целесообразно использовать постоянную  $T_n$ , определенную графически для начальной точки кривой нагрева. Это значение  $T_n$  является наименьшим и при его использовании обеспечивается некоторый запас мощности двигателя.

Кривая охлаждения, снятая экспериментально, еще более отличается от теоретической, чем кривая нагрева. Постоянная времени охлаждения, соответствующая отключенному двигателю, значительно больше постоянной времени нагрева вследствие уменьшения теплоотдачи при отсутствии вентиляции.

### 3.3. Классификация режимов работы электроприводов.

1. **Продолжительный режим S1** — когда при неизменной номинальной нагрузке  $P_{ном}$  работа двигателя продолжается так долго, что температура перегрева всех его частей успевает достигнуть установившихся значений  $\tau_{уст}$ .

Различают продолжительный режим с **неизменной нагрузкой**  $P = const$  и продолжительный режим с **изменяющейся нагрузкой**. Например, электроприводы насосов, транспортеров, вентиляторов работают в продолжительном режиме с неизменной нагрузкой, а электроприводы прокатных станков, металлорежущих станков и т.п. работают в продолжительном режиме с изменяющейся нагрузкой.

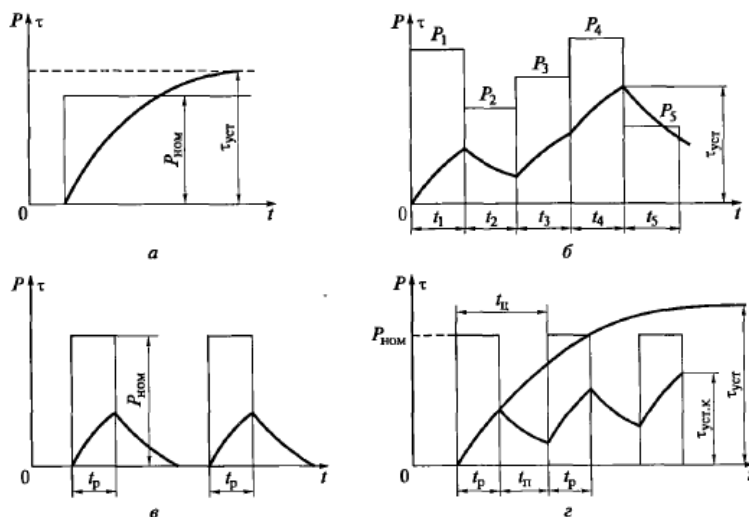


Рис. 2.11. Нагрузочные диаграммы режимов работы двигателя:  
 а — продолжительного с неизменной нагрузкой; б — то же, с переменной нагрузкой; в — кратковременного; з — повторно-кратковременного

2. **Кратковременный режим S2** — когда периоды неизменной номинальной нагрузки чередуются с периодами отключения двигателя. При этом периоды работы (нагрузки) двигателя  $t_p$  настолько кратковременны, что температуры нагрева всех частей двигателя **не достигают** установившихся значений, а периоды отключения

двигателя настолько продолжительны, что все части двигателя *успевают охладиться* до температуры окружающей среды (допускается превышение температуры не более чем на 1°C).

Стандартом установлена длительность периодов нагрузки 10; 30; 60 и 90 мин. В условном обозначении кратковременного режима указывается продолжительность периода нагрузки, например S2 — 30 мин.

В кратковременном режиме работают электроприводы шлюзов, разного рода заслонок, вентилях и других запорных устройств, регулирующих подачу рабочего вещества (нефть, газ, вода и др.) посредством трубопровода к объекту потребления.

**3. Повторно-кратковременный режим S3** — когда кратковременные периоды работы двигателя  $t_p$  чередуются с периодами отключения двигателя (паузами)  $t_n$ , причем за период работы  $t_p$  превышение температуры *не успевает* достигнуть установившихся значений, а за время паузы части двигателя *не успевают* охладиться до температуры окружающей среды. Общее время работы двигателя в **повторно-кратковременном** режиме разделяется на периодически повторяющиеся циклы продолжительностью

$$t_u = t_p + t_n$$

При повторно-кратковременном режиме работы график нагревания двигателя имеет вид пилообразной кривой. При достижении двигателем установившегося значения температуры перегрева, соответствующего повторно-кратковременному режиму  $\tau_{уст.к}$ , температура перегрева двигателя продолжает колебаться от  $\tau_{min}$  до  $\tau_{max}$ . При этом  $\tau_{уст.к}$  меньше установившейся температуры перегрева, которая наступила бы, если режим работы двигателя был продолжительным ( $\tau_{уст.к} < \tau_{уст}$ ). Примерами повторно-кратковременного режима являются работа электроприводов лифтов, подъемных кранов, экскаваторов и других устройств, для которых характерна цикличность (чередование периодов работы с паузами). При этом продолжительность цикла  $t_u = t_p + t_n$  *не должна превышать 10 мин.*

Повторно-кратковременный режим характеризуется *относительной продолжительностью включения, %*,

$$ПВ = (t_p / t_u) * 100$$

Действующим стандартом предусмотрены номинальные повторно-кратковременные режимы с ПВ 15, 25, 40 и 60% (для продолжительного режима ПВ=100%). В условном обозначении повторно-кратковременного режима указывают величину ПВ, например, S3 — 40%.

При переводе двигателя из продолжительного режима (ПВ = 100%) в повторно-кратковременный режим мощность двигателя, по сравнению с его мощностью в продолжительном режиме, может быть увеличена: при ПВ = 60% на 30%, при ПВ = 40% на 60%, при ПВ = 25% — в 2 раза, при ПВ = 15 % — в 2,6 раза.

Рассмотренные три номинальных режима считаются основными. В каталогах на двигатели, предназначенные для работы в каком-либо из этих режимов, указаны номинальные данные, соответствующие режиму работы.

*Помимо рассмотренных трех основных режимов, стандартом предусмотрены еще и дополнительные режимы:*

*повторно-кратковременный режим S4 с частыми пусками, с числом включений в час 30, 60, 120 или 240;*

*повторно-кратковременный режим S5 с частыми пусками и электрическим торможением в конце каждого цикла;*

*перемежающийся режим S6 с частыми реверсами и электрическим торможением;*

*перемежающийся режим S7 с частыми пусками, реверсами и электрическим торможением;*

*перемежающийся режим S8 с двумя и более разными частотами вращения.*

### **3.4. Методы определения мощности электродвигателя при различных режимах работы.**

Определение мощности двигателя для производственного механизма выполняется в соответствии с нагрузкой на его валу по условиям нагрева. После того как двигатель выбран по условиям нагрева по каталогу, его проверяют по перегрузочной способности и условиям пуска.

За время работы теплота, обусловленная потерями мощности в двигателе, нагревает его. Допустимая же температура двигателя определяется классом изоляции его обмоток и не должна превышать определенного значения, установленного заводом-изготовителем. Необходимо выбрать такой двигатель по номинальной мощности, при которой он бы нагревался за время работы до температуры, не превосходящей допустимую. Превышение допустимой температуры приводит к потере изоляцией электрической и механической прочности и к выходу двигателя из строя.

Завышение мощности двигателя связано с дополнительными капитальными затратами, увеличением расхода энергии на единицу продукции, а для асинхронных двигателей, кроме того, — с ухудшением коэффициента мощности.

По характеру работы все производственные механизмы разделяются на четыре основные группы:

- 1) механизмы, работающие длительно с постоянной нагрузкой;
- 2) механизмы, работающие длительно с изменяющейся нагрузкой;
- 3) механизмы, часть времени производственного цикла работающие, другую часть находящиеся в неподвижном состоянии (повторно-кратковременный характер работы);

4) механизмы, работающие всего несколько секунд или минут, а затем длительно (десятки секунд или минут) находящиеся в неподвижном состоянии (кратковременный характер работы).

**Методика расчета мощности электродвигателя при неизменяющейся нагрузке.** Существует много механизмов, работающих продолжительно с неизменной или мало меняющейся нагрузкой без регулирования скорости, например насосы, компрессоры, вентиляторы и т.п.

При выборе электродвигателя для такого режима необходимо знать мощность, потребляемую механизмом. Если эта мощность неизвестна, ее определяют теоретическими расчетами или расчетами по эмпирическим формулам с использованием коэффициентов, полученных из многочисленных опытов. Для малоизученных механизмов необходимую мощность определяют путем снятия нагрузочных диаграмм самопишущими приборами на имеющихся уже в эксплуатации аналогичных установках либо путем использования нормативов потребления энергии, полученных на основании статистических данных, учитывающих удельный расход электроэнергии при выпуске продукции. При известной мощности механизма мощность электродвигателя выбирается по каталогу с учетом КПД промежуточной передачи. Расчетная мощность на валу электродвигателя:

$$P = \frac{P_m}{\eta_{\Pi}}$$

Где -  $P_m$  - мощность, потребляемая механизмом;  
 $\eta_{\Pi}$  - КПД передачи.

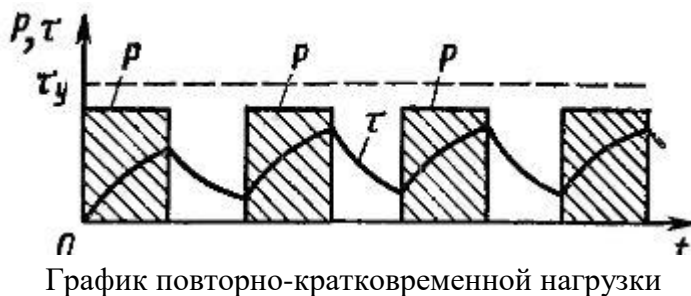
Номинальная мощность электродвигателя, принятого по каталогу, должна быть равна или несколько больше расчетной.

Выбранный электродвигатель не нуждается в проверке по нагреву или по перегрузке, так как завод-изготовитель произвел все расчеты и испытания, причем основанием для расчетов являлось максимальное использование материалов, заложенных в электродвигателе при его номинальной мощности. Иногда, однако, приходится проверять достаточность пускового момента, развиваемого электродвигателем, учитывая, что некоторые механизмы имеют повышенное сопротивление трения в начале трогания с места (например, транспортеры, некоторые механизмы металлорежущих станков).

В соответствии с характером работы производственных механизмов установлены три основных номинальных режима двигателей: продолжительный, повторно-кратковременный и кратковременный.

Режиму повторно-кратковременной нагрузки соответствуют графики, подобные представленному на рисунке. Перегрев электродвигателя изменяется по пилообразной ломаной линии, состоящей из чередующихся отрезков кривых нагрева и охлаждения.

Режим повторно-кратковременной нагрузки характерен для приводов большинства металлорежущих станков.



Мощность электродвигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, наиболее удобно определить по формуле средних потерь, которую можно записать в виде

$$\Delta P_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sum \Delta A}{\sum t}$$

где  $\Delta A$  — потери энергии при каждом значении нагрузки, включая процессы пуска и торможения.

Когда электродвигатель не работает, условия его охлаждения значительно ухудшаются. Это учитывают введением экспериментальных коэффициентов  $\beta_0 < 1$ . На коэффициент  $\beta_0$  умножают время  $t_0$  паузы, в результате чего знаменатель формулы уменьшается, и эквивалентные потери  $\Delta P_{\text{ЭКВ}}$  увеличиваются, а следовательно, возрастает номинальная мощность электродвигателя.

У асинхронных защищенных двигателей серии А с синхронной частотой вращения 1500 об/мин и мощностью 1—100 кВт коэффициент  $\beta_0$  составляет 0,50—0,17, а у двигателей с обдувом  $\beta_0 = 0,45$  — 0,3 (с увеличением  $P_n$  коэффициент  $\beta_0$  убывает). У закрытых двигателей  $\beta_0$  близок к единице (0,93—0,98). Это объясняется тем, что эффективность вентиляции у закрытых двигателей низка.

Во время пуска и торможения средняя частота вращения электродвигателя ниже номинальной, вследствие чего также ухудшается охлаждение электродвигателя, что характеризуется коэффициентом

$$\beta_1 = \frac{1 - \beta_0}{2}$$

При определении коэффициента  $\beta_1$  условно принято, что изменение частоты вращения происходит по линейному закону и что коэффициент  $\beta_1$  линейно зависит от нее.

Зная коэффициенты  $\beta_0$  и  $\beta_1$  получим

$$\Delta P_{\text{ЭКВ}} = \frac{\Delta A_{\text{п}} + \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \dots - \Delta A_{\text{т}}}{\beta_1 \cdot t_{\text{п}} + t_1 + t_2 + \dots + \beta_0 \cdot t_{\text{т}} + \beta_0 \cdot t_0}$$

где  $\Delta P_1, \Delta P_2$ , — потери мощности при различных нагрузках, кВт;

$t_1, t_2$  — время действия этих нагрузок, с;

$t_n, t_T, t_0$ —время пуска, торможения и паузы, с;

$\Delta A_n, \Delta A_T$  — потери энергии в двигателе при пуске и торможении, кДж.

Как было указано выше, каждый электродвигатель должен быть выбран по условиям нагрева и по условиям перегрузки. Для применения метода средних потерь необходимо предварительно задаться определенным электродвигателем, который и в данном случае целесообразно выбрать по условиям перегрузки. Формулу эквивалентной мощности можно использовать для грубого расчета в тех случаях, когда пуск и торможение происходят редко и существенно не влияют на нагрев электродвигателя.

В станкостроении для работы в режиме повторно-кратковременной нагрузки применяют электродвигатели, предназначенные для работы с продолжительной нагрузкой. Электропромышленность выпускает также и двигатели, специально предназначенные для работы с повторно-кратковременной нагрузкой, получившие широкое распространение в подъемно-транспортных сооружениях. Такие электродвигатели выбирают с учетом относительной продолжительности включения:

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_0}$$

где  $t_p$  — время работы двигателя;  $t_0$  — продолжительность паузы.

## Лекция 4

### ОСНОВЫ ДИНАМИКИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

- 4.1. Силы и моменты, действующие в системе электропривод – рабочая машина.
- 4.2. Переходные режимы электроприводов.
- 4.3. Расчетные схемы механической части электропривода. Приведение моментов сопротивления и инерции.
- 4.4. Неустановившееся движение электропривода при постоянном динамическом моменте.

#### 4.1. Силы и моменты, действующие в системе электропривод – рабочая машина;

Состояние привода зависит от действующего вращающего момента двигателя  $M_{дв}$  и статического момента сопротивления  $M_c$  определяемого нагрузкой производственного механизма. Каждый из моментов может быть движущим и тормозящим. Например, вращение диска пилы или крыльчатки вентилятора:  $M_{дв}$  -тормозящий,  $M_c$  - движущий; опускание краном груза при режиме противовключения двигателя:  $M_{дв}$ -тормозящий,  $M_c$  -движущий; силовой спуск груза – оба момента движущие; электрическое торможение прокатного стана - оба момента тормозящие.

Моменты приложенные к механической системе со стороны двигателя, называются движущими, а со стороны нагрузки – моментами сопротивления.

В зависимости от причины, обуславливающей возникновение силы или момента сопротивления  $M_c$ , различают активные и реактивные силы и моменты.

Активными (активная нагрузка) называют силы или моменты, которые появляются независимо от движения и создаются посторонними источниками механической энергии. Они всегда направлены в одну сторону, поэтому при изменении направления действия активной нагрузки сохраняется. Примеры: сила притяжения земли, энергия ветра, потока воды, потенциальная энергия грузов, моменты от силы тяжести, растяжения, сжатия и скручивания упругих тел и тому подобное.

Активные – обусловлены воздействием на электромеханическую систему привода внешних сил (например, сила тяжести). Эти моменты не зависят от направления движения и, как правило, не зависят от скорости.

Активный момент сохраняет свой знак при изменении направления вращения привода.

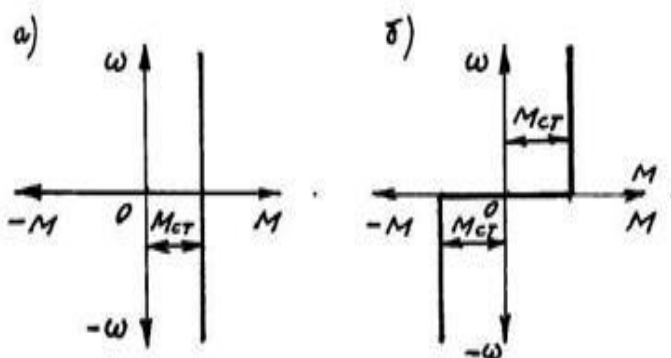
Реактивные силы или моменты (реактивная нагрузка) появляется только вследствие движения и направлены против него, то есть они будут всегда тормозящими. При изменении направления вращения двигателя изменяется на противоположное и направление действия реактивной нагрузки. Примеры: механизмы трения в движущих элементах, моменты на рабочих органах металлорежущих станков, механизмы обжатия, резания, подачи жидкости и газа, разрушения неупругих материалов.

Реактивные – возникает как реакция на движение исполнительного органа привода. Они обусловлены силами трения и технологическими условиями (например, силами резания).

Реактивные моменты всегда действуют противоположно движению, реактивные моменты меняют знак.

Поэтому в общем случае статический момент механизма находится как алгебраическая сумма реактивного и активного моментов, т.е.

$$M_c = \pm M_{акт} \pm M_{реакт}$$



Активный ( а ) и реактивный ( б ) статический моменты

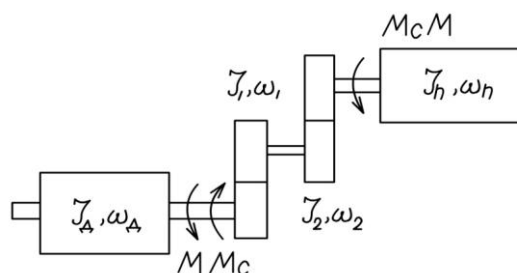
Механическая часть электропривода представляет собой сложную кинематическую цепь с большим числом движущихся элементов. Каждый из этих элементов реальной кинематической цепи обладает упругостью т.е. деформируется под нагрузкой, а в соединениях элементов имеются воздушные зазоры. С учетом этих факторов расчетная схема механической части привода будет представлена многомассовой механической системой с упругими связями и зазорами.

Движение электропривода можно рассматривать на каком-либо одном элементе, к которому приведены все внешние силы и моменты, инерционные массы механических звеньев. За такой элемент обычно принимают вал двигателя.

Приведение моментов и сил сопротивления от одной оси вращения к другой выполняется на основании закона сохранения энергии (баланса мощности в механической части привода), например, к валу двигателя.

Можно свести расчетную схему механической части привода либо к трехмассовой, либо к двухмассовой механической системе с эквивалентными упругими связями и с суммарным зазором (или без него), приведенным к угловой скорости вала двигателя.

Расчетная схема сводится к одному обобщенному жесткому механическому звену, имеющему эквивалентную массу с моментом инерции  $J$ , на которую воздействует электромагнитный момент двигателя  $M$  и суммарный приведенный к валу двигателя момент сопротивления (статический момент)  $M_c$ , включающий все механические потери в системе, в том числе механические потери двигателя.



Кинематическая схема связей двигателя с исполнительным механизмом

## 4.2. Переходные режимы электроприводов

Ранее рассматривались условия работы электропривода в установившемся режиме, когда момент, развиваемый двигателем равен моменту сопротивления механизма и скорость постоянна.

В тех случаях, когда привод ускоряется или замедляется, возникает инерционный момент, который двигатель должен преодолеть в переходном режиме.

**Переходным процессом** или **переходным режимом** электропривода называется режим его работы при переходе от одного установившегося состояния к другому, когда изменяется скорость, ток, момент.

Причинами возникновения переходных режимов в электроприводах является либо изменение нагрузки, связанное с производственным процессом, либо воздействие на электропривод при управлении им, т. е. пуск, изменение скорости, торможение, реверс и т. п.

Характер переходного режима электропривода зависит от свойств рабочей машины, типа электродвигателя, передачи, режима работы двигателя (пуск, торможение, сброс или наброс нагрузки и т. д.).

На протекание переходных процессов значительное влияние оказывает механическая, электромагнитная и тепловая инерция.

Механическая инерция, характеризуемая механической постоянной  $T_m$ , зависит как от инерционных масс и характера  $M_c$ , так и от электромеханических свойств двигателя.

Электромагнитная инерция характеризуется электромагнитной постоянной  $T_e$ , зависящей от  $L$  и  $R$  электрической цепи.

Тепловая инерция характеризуется постоянной времени нагрева  $T_n$ , зависит от теплоемкости машины и ее теплоотдачи. Поскольку тепловые процессы протекают значительно медленнее электромагнитных и механических, их при анализе переходных процессов электропривода не принимают во внимание.

Когда не требуется очень большой точности, ограничиваются только механической инерцией. Переходные процессы в этом случае называются механическими.

Если учитывается только электромагнитная инерция (например в цепях возбуждения), переходные процессы называются электромагнитными.

Переходные процессы, в которых учитывается как механическая, так и электромагнитная инерция, называются электромеханическими.

Уравнение движения электропривода имеет вид

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt},$$

где  $M$  – вращающий момент электродвигателя;

$M_c$  – момент сопротивления механизма;

$J \frac{d\omega}{dt}$  – инерционный, или динамический момент.

Уравнение получено при условии, что масса тела и его момент инерции постоянны.

При  $M > M_c$   $d\omega/dt > 0$ , привод успокаивается; при  $M < M_c$   $d\omega/dt < 0$ , привод замедляется, при  $M = M_c$   $d\omega/dt = 0$ , привод работает в установившемся режиме.

### 4.3. Расчетные схемы механической части электропривода.

#### Приведение моментов сопротивления и инерции.

Элементы, образующие механическую часть электропривода, связаны между собой и оказывают друг на друга воздействие. Поэтому при анализе механического движения того или иного элемента необходимо учитывать влияние на него других элементов кинематической схемы электропривода. Это достигается пересчетом сил, вращающих моментов, масс и моментов инерции к элементу, движение которого рассматривается. Такая процедура в теории электропривода называется **операцией приведения**, а пересчитанные переменные и параметры – **приведенными**.

Рассмотрим операцию приведения на примере механической части электропривода подъемной лебедки. Электродвигатель 1 с моментом инерции  $J_d$  через одноступенчатый редуктор 3 с парой шестерен 4 и 10 приводит во вращение с угловой скоростью  $\omega_6$  барабан 6 подъемной лебедки, который с помощью троса 7 и крюка 8 поднимает (или опускает) с линейной скоростью исполнительного механизма  $v_{и.о.}$  груз 9 массой  $m$ .

На схеме показаны также соединительные механические муфты 5 и 11, первая из которых служит шкивом для механического тормоза 2. Примем допущение, что все элементы кинематической схемы являются абсолютно жесткими и между ними отсутствуют зазоры.

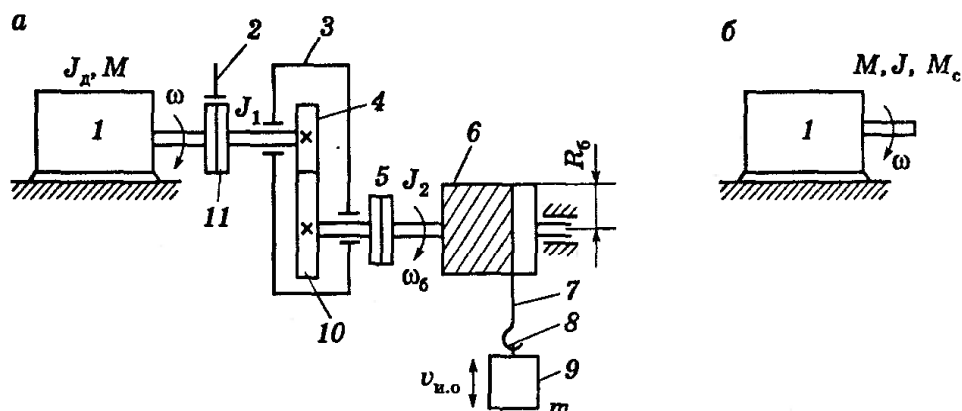


Схема подъемной лебедки  
а – кинематическая б – расчетная

Операцию приведения можно выполнять относительно любого элемента, движение которого подлежит рассмотрению. Обычно в качестве такого элемента выбирают двигатель, являющийся источником механического движения. В этом случае операция приведения состоит в том, что реальная схема механической части электропривода заменяется некоторой **расчетной (эквивалентной) схемой** (рис б), основой которой является двигатель, а остальные элементы реальной схемы представлены некоторыми пока неизвестными приведенными моментом нагрузки  $M_c$  и моментом инерции  $J$ . Схема получила название **одномассовой системы** или **жесткого приведенного звена**.

Математические соотношения, позволяющие определить  $M_c$  и  $J$  и тем самым перейти к расчетной схеме, выводятся исходя из закона сохранения энергии.

Чтобы определить приведенный момент инерции  $J$ , запишем выражения для кинетической энергии элементов в реальной и расчетной схемах и приравняем их друг другу:

$$J\omega^2 / 2 = \frac{J_D\omega^2}{2} + \frac{J_1\omega^2}{2} + \frac{J_2\omega^2}{2} + \frac{mv_{И.О.}^2}{2},$$

где  $J_1$  – суммарный момент инерции элементов, вращающихся со скоростью  $\omega$  (кроме двигателя);

$J_2$  – момент инерции элемента (барабана), вращающегося со скоростью  $\omega_6$ .

Умножив обе части выражения на  $2/\omega^2$ , получим

$$J = J_D + J_1 + J_2(\omega_6 / \omega)^2 + m(v_{И.О.} / \omega)^2,$$

Отметим, что в  $\omega/\omega_6 = z_1/z_2 = i$ , где  $z_2, z_1$  – число зубьев шестерен 4 и 10 соответственно, является передаточным отношением редуктора, а отношение  $v_{и.о.}/\omega = \rho = \omega_6 R_6 / \omega = R_6 / i$  представляет собой так называемый радиус приведения кинематической схемы между исполнительным органом (крюком) и валом двигателя. С учетом этого окончательно получим:

$$J = J_D + J_1 + J_2 / i^2 + m\rho^2,$$

Определим приведенный момент сопротивления  $M_c$ . При подъеме груза к исполнительному органу должна быть подведена от электропривода механическая мощность

$$P_{И.О.} = F_{И.О.} v_{И.О.} = mgv_{И.О.},$$

где  $F_{И.О.}$  – усилие, развиваемое исполнительным органом;

$g$  – ускорение свободного падения.

Учитывая с помощью КПД потери мощности в кинематической цепи, запишем баланс мощности нагрузки электропривода в реальной и расчетной схемах:

$$M_c \omega = mgv_{И.О.} / \eta,$$

где  $\eta$  – результирующий КПД кинематической схемы электропривода (в рассматриваемом примере  $\eta = \eta_p \eta_6$ , где  $\eta_p, \eta_6$  – КПД соответственно редуктора и барабана).

Разделив обе части выражения на  $\omega$ , получим

$$M_c = \frac{mgv_{И.О.}}{\eta\omega} = \frac{F_{И.О.}\rho}{\eta},$$

Если исполнительный орган совершает не поступательное, а вращательное движение, то

$$M_c \omega = M_{и.о} \omega_{и.о} / \eta ,$$

где  $M_{и.о}$ ,  $\omega_{и.о}$  – соответственно момент нагрузки и скорость исполнительного органа, а приведенный момент нагрузки

$$M_c = M_{и.о} / (\eta i) ,$$

Приведенный момент нагрузки называют также статическим моментом или моментом сопротивления.

#### 4.4. Неустановившееся движение электропривода при постоянном динамическом моменте

Неустановившееся движение электропривода имеет место когда моменты двигателя и нагрузки отличаются друг от друга т.е.  $M \neq M_c$ . В этом случае динамический момент не равен нулю и происходит увеличение или снижение скорости движения.

При рассмотрении неустановившегося движения можно вывести зависимости момента, скорости и угла поворота вала двигателя от времени. Эти зависимости получаются решением основного уравнения электропривода (формула 1), а также дифференциального уравнения  $\omega = d\varphi/dt$ , связывающего угол поворота  $\varphi$  вала двигателя и его угловую скорость  $\omega$ .

Если динамический момент постоянен и положителен, то решение уравнения имеет следующий вид:

$$\omega = \frac{M - M_c}{J} t + C ,$$

Постоянная интегрирования  $C$  находится из начальных условий переходного процесса:  $\omega = \omega_{нач}$  при  $t = 0$ . Подставляя это условие в уравнение (10), находим:  $C = \omega_{нач}$ . При этом уравнение (10) принимает вид

$$\omega = \frac{M - M_c}{J} t + \omega_{нач}$$

Полученная формула показывает, что в рассматриваемом случае скорость  $\omega(t)$  линейно зависит от времени: при  $M - M_c > 0$  она увеличивается, а при  $M - M_c < 0$  – снижается. Момент двигателя от времени не зависит.

Время переходного процесса  $t_{н.н}$ , за которое скорость изменится от некоторого начального уровня  $\omega_{нач}$ , определяется по формуле

$$t_{н.н} = J(\omega_{кон} - \omega_{нач}) / (M - M_c)$$

## Лекция 5

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

5.1. Принципы автоматического управления.

5.2. Классификация электрических схем. Условные обозначения элементов схем.

5.3. Схемы блокировочных связей.

5.4. Принципы построения схем управления электродвигателями в функциях скорости, тока, времени, пути.

#### 5.1. Принципы автоматического управления.

Управление электроприводами заключается в осуществлении пуска, регулирования частоты вращения, торможения, реверсирования, а также поддержания режима работы привода в соответствии с требованиями технологического процесса.

В общем случае управление может быть ручным, полуавтоматическим и автоматическим.

Ручной способ заключается в том, что оператор управляет электроприводом от руки.

Полуавтоматическое управление предполагает, что начальный импульс на включение подается оператором, а в дальнейшем работа электропривода протекает без его участия.

Автоматическое управление осуществляется без непосредственного участия оператора. Таким образом, автоматическим управлением электроприводами называется процесс выполнения необходимых операций по пуску, торможению, реверсированию, регулированию частоты вращения, поддержанию режима работы в соответствии с требованиями технологического процесса, осуществляемого без непосредственного участия человека.

Различают следующие функции, выполняемые устройствами автоматического управления:

Первая функция — автоматический разгон, торможение и реверсирование, а также поддержание постоянной при изменении нагрузки частоты вращения электродвигателей с невысокой точностью, ограниченной жесткостью характеристик. Сюда относятся наиболее распространенные случаи автоматического ступенчатого пуска и торможения двигателей переменного и постоянного тока с ограничением пускового и тормозного токов, допустимых двигателем.

Вторая функция — автоматическое задание и поддержание заданной частоты вращения или другой переменной с высокой точностью в статике и динамике.

Третья функция — слежение за вводимыми в систему электропривода сигналами, которые могут возникать по заранее неизвестным законам.

Четвертая функция — программное автоматическое управление машинами и механизмами. Аппаратура управления здесь обеспечивает память программы, ее ввод, считывание с различными вычислениями и преобразованием сигналов.

Пятая функция — автоматическое управление механизмами, установками и комплексами машин, обеспечивающее автоматический выбор целесообразных режимов работы. Эти функции выполняются системами автоматического управления (САУ), содержащими устройства, осуществляющие первые четыре функции, с добавлением датчиков, измеряющих различные технологические величины, и вычислительных устройств, обеспечивающих минимум ошибок управления.

Шестая функция — автоматическое управление комплексами машин, объединенных общим технологическим процессом. САУ, выполняющие шестую функцию, являются устройствами комплексной автоматизации: они содержат все системы и устройства, выполняющие пять предыдущих функций с более развитой вычислительной техникой, способной централизованно собирать информацию от большого числа датчиков, обрабатывать ее и вести управление согласно результатам обработки.

При внедрении автоматического управления электроприводами повышается производительность механизмов и улучшается качество продукции. При этом облегчаются условия труда рабочего и повышается надежность работы механизмов.

Автоматизация упрощает обслуживание механизмов, дает возможность управлять ими дистанционно и позволяет одному человеку управлять целой технологической линией или процессом, а то и всем предприятием.

## **5.2. Классификация электрических схем. Условные обозначения элементов схем**

Из-за сложности современных схем управления, имеющих большое количество отдельных элементов, необходимы жесткие требования к их изображению, которые должны легко читаться.

Электрические схемы в зависимости от основного назначения подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные, соединения, подключения.

Структурная схема — схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Ими пользуются для общего ознакомления с изделием или установкой.

Функциональные части на схеме изображают обычно в виде прямоугольников, а наименование, тип или обозначение устройства вписывают внутрь последних. Направление хода процессов, происходящих в изделии, показывают стрелками.

Функциональные схемы отличаются от структурных только тем, что в них допускается вместо связей, обозначаемых стрелками, показывать конкретные соединения между элементами и устройствами (провода, выводы).

Структурными и функциональными схемами пользуются для общего ознакомления с установками и изучения принципа их работы.

Принципиальная (полная) схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы устройства, установки, служит основанием для разработки других конструкторских документов.

Каждый элемент, входящий в устройство и изображенный на принципиальной схеме, должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, составленное из буквенного обозначения и порядкового номера, проставленного после буквенного

обозначения. Буквенное обозначение – сокращенное наименование элемента, составленное из его начальных или характерных букв. Порядковые номера элементам присваиваются, начиная с единицы в пределах группы элементов, которые на схеме имеют одинаковые буквенные позиционные обозначения.

Цифры порядковых номеров элементов и их буквенные обозначения выполняются одним размером шрифта.

В качестве примера наиболее часто применяемых буквенных обозначений можно привести следующее:

для контактов и катушек контакторов, магнитных пускателей и электромагнитных реле – К для рубильников, путевых выключателей, переключателей для кнопочных выключателей – S; для предохранителей, тепловых реле и автоматических выключателей – F; для электрических двигателей – М.

Элементы радиоэлектроники обозначаются следующим образом: R – резистор; С – конденсатор; V – диод, триод, тиристор; Н – сигнальная лампа.

Условные графические обозначения на принципиальных схемах выполняют, как правило, разнесенным способом, то есть отдельные части элемента (например, катушки, контакты) располагают в разных местах так, чтобы отдельные цепи изделия были изображены более наглядно одна над другой, образуя параллельные строки.

Силовые цепи или цепи главного тока вычерчиваются жирными линиями, а вспомогательные цепи (цепи управления), состоящие из катушек реле и контактов, цепей защиты и сигнализации т. д., изображаются тонкими линиями.

Схема соединений показывает соединения составных частей изделия и определяет провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединения и ввода, ими пользуются при монтаже электроустановок.

На схеме соединений должны быть изображены все устройства и элементы, входящие в состав изделия, включая их входные и выходные элементы (разъемы, платы, зажимы и т. п.), а также должны быть указаны марки, сечения проводов и способы их прокладки.

В схемах соединений расположение отдельных элементов одного и того же аппарата дается в соответствии с их действительным размещением в непосредственной близости друг от друга, то есть условные графические обозначения здесь выполняются совмещенным способом.

На основании принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунке 1, составлена схема соединений управления электродвигателем.

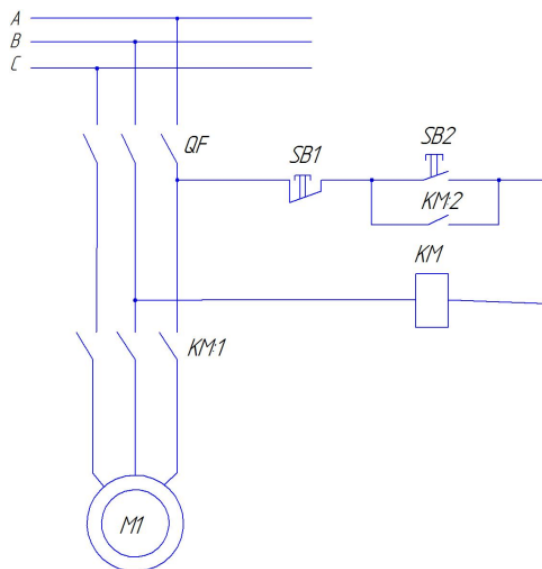


Рис. 1 – Схема управления электродвигателем

Схема соединений панели станции управления называется схемой внутренних соединений, а соединения панели с двигателем и кнопочной станцией — схемой внешних соединений.

Из рисунка видно, что схема соединений должна составляться в соответствии с принципиальной схемой и маркировкой участков цепи. Главные цепи маркируют буквами А, В, С, цепи управления — арабскими цифрами, провода, идущие в одном направлении, показываются одной линией.

Замыкающие и размыкающие контакты электрических аппаратов в электрических схемах изображают в положении, которое они занимают при снятии напряжения с катушек этих аппаратов или при отсутствии механического воздействия на контактную систему, например, при отсутствии нажатия на кнопочный выключатель и т. д.

Схема подключения — схема, показывающая внешние поди точения установки. На схеме подключения изображают изделие в виде прямоугольника, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т. п.) в виде условных графических обозначений; провода, кабели показываются отдельными линиями.

### 5.3. Схемы блокировочных связей.

Блокировочные связи в схемах автоматического управления электроприводами обеспечивают необходимую последовательность включения и отключения отдельных ее элементов. Наличие блокировок предотвращает повреждение отдельных частей механизмов, работающих согласованно, устраняет опасность выхода из строя оборудования в результате неправильных действий обслуживающего персонала и повышает надежность установки в целом.

Блокировка замыкающего контакта пусковой кнопки обеспечивает питание контактора при опускании кнопки. Такая блокировка предотвращает самозапуск механизма при внезапных исчезновениях и появлениях питающего напряжения, что исключает возможность несчастных случаев, например при профилактических осмотрах

и ремонте механизмов. Блокировка реверсивных контакторов и магнитных пускателей исключает одновременные включения контакторов при заедании или залипании подвижной части аппаратуры, при неправильных действиях с кнопками и т. д.

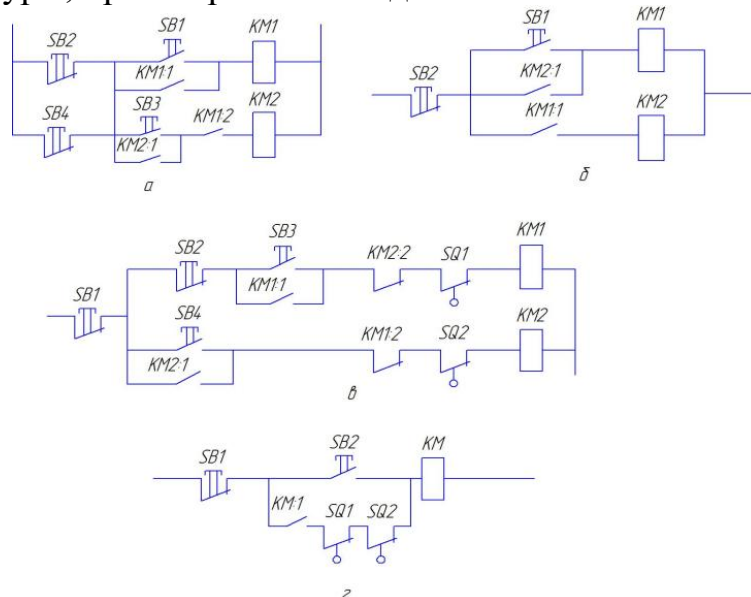


Рис. 2 – Блокировочные связи в схемах управления

В схеме на рисунке **2а** предусматривается включение второго электродвигателя только после включения первого. Блокировочная связь, посредством которой выполняется это условие, осуществляется включением замыкающего блок-контакта КМ1:1 в цепь магнитного пускателя КМ2.

На рисунке **2б** изображена схема управления, предусматривающая только одновременную работу двух двигателей. Блокировочная связь в этой схеме осуществляется замыкающим контактом КМ1:1 в цепи магнитного пускателя КМ2, а замыкающим контактом КМ2:1, включенным параллельно контакту кнопки SB1. При нажатии кнопки SB1 запитается магнитный пускатель КМ1, который, закрыв свой блок-контакт, подаст напряжение на катушку магнитного пускателя КМ2. Магнитный пускатель КМ2, сработав, шунтирует своим блок-контактом кнопку SB1 и создаст цепь независимого питания катушки КМ1. Если по каким-либо причинам магнитный пускатель КМ2 не включится, то кнопка SB1 не будет шунтирована и после ее отпущения вся схема выключится.

Путевые блокировки ограничивают ход рабочего органа механизма при помощи путевых и конечных выключателей. Они предупреждают повреждение механизма и обеспечивают высокую точность выполнения технологической операции.

На рисунке **2в** изображена схема управления реверсивным электроприводом с ограничением перемещения рабочего механизма. Это ограничение достигается установкой в необходимых местах конечных выключателей SQ1 и SQ2, размыкающие контакты которых находятся в цепи катушек соответствующих контакторов.

При включении рабочим механизмом какого-нибудь конечного выключателя электродвигатель останавливается, и повторный пуск его может быть осуществлен только в обратном направлении. Схема, показанная на рисунке **2г** позволяет автоматически останавливать механизм в двух заданных точках. Достигается это установкой путевых выключателей SQ1 и SQ2, размыкающие контакты которых включаются последовательно с блок-контактом КМ:1, шунтирующим кнопку SB2. После пуска дви-

гателя механизм приходит в движение и при достижении места остановки нажимает на путевой выключатель, например SQ1, и электродвигатель останавливается. После выполнения необходимой технологической операции вновь нажимают кнопку SB2 и механизм продолжает дальнейшее движение.

Сигнализация, применяемая в электрических схемах электропривода, служит для контроля наличия сигнала, например напряжения, технического состояния и положения включающих и отключающих аппаратов, последовательности операций, совершаемых схемой электропривода и для контроля аварийного состояния схемы.

Световая сигнализация осуществляется при помощи различной сигнальной аппаратуры: табло, транспарантов, семафоров. При этом световой сигнал может быть воспроизведен ровным или мигающим светом, а также свечением ламп неполным накалом. В некоторых случаях сигнализация о срабатывании защиты может быть выполнена при помощи специальных сигнальных указательных реле-блинкеров. Звуковая сигнализация выполняется при помощи звонков, гудков и сирен.

Сигнализация по назначению может быть разделена на две основные группы:

- сигнализация положения (состояния) — для информации о состоянии технологического оборудования, например включено — отключено;
- предупреждающая и аварийная — для информации об отключениях наиболее важных объектов, например вентиляции или отклонении технологического процесса от заданного хода.

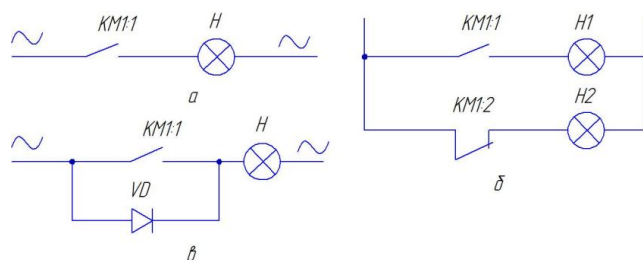
Сигнализация положения выполняется для механизмов, которые имеют два или более рабочих положения. Наиболее распространены две структуры построения схем сигнализации положения (состояния) технологических механизмов:

- схемы сигнализации, совмещенные со схемами управления;
- схемы сигнализации с независимым от схем управления питанием на группу технологических механизмов одного или разного назначения.

Схемы сигнализации, совмещенные со схемами управления, как правило, выполняют в том случае, если полезная площадь щитов и пультов позволяет применить сигнальную аппаратуру без ограничения ее размеров и допускающую прямое питание от цепей управления. Сигнализация положения (состояния) технологических механизмов в таких схемах может осуществляться одним или двумя световыми сигналами.

На рисунке 3 приведены три схемы включения сигнальных ламп. В первом случае (рис. 2а) лампа горит, когда магнитный пускатель КМ1 включен: неисправность лампы равносильна ложному сигналу, так как погашенная лампа сигнализирует об отключении. От этого недостатка свободна схема с двумя лампами (рис. 2б). В любом положении магнитного пускателя одна из ламп горит (Н1 — пускатель включен, Н2 — пускатель отключен). Если обе же лампы погашены, то сигнализация неисправна.

На рисунке 3в показана схема одноламповой сигнализации. Когда пускатель включен, лампа горит полным накалом, если отключен — неполным благодаря диоду VD.



Схемы предупреждающей и аварийной сигнализаций, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала о нарушении нормального хода процесса, воспроизводятся ровным или мигающим светом и сопровождаются, как правило, звуковым сигналом. Наиболее распространены схемы сигнализации с центральным съемом звукового сигнала. Они дают возможность принимать новый звуковой сигнал до замыкания контактов, вызвавших появление предыдущего сигнала.

Рассмотрим некоторые схемы управления с помощью электромагнитного пускателя (рис.4,5).

Схема управления двухдвигательным приводом в определенной последовательности включения и одновременным включением используется при управлении, например, двумя транспортерами, когда электродвигатели необходимо включать в определенной последовательности (варианты а, б). Чтобы предупредить завал продуктам транспортера Т1, необходимо вначале пустить транспортер Т1, затем Т2.

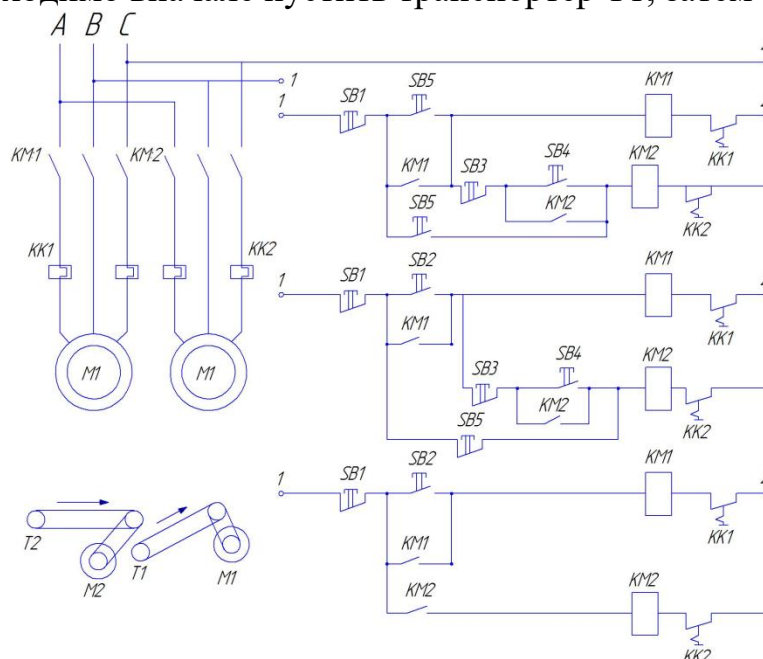


Рис. 4 – Схемы управления двумя электродвигателями в заданной последовательности

Электродвигатель М1 включается по обычной схеме при нажатии кнопки SB2. Двигатель М2 можно включить независимо от двигателя М1 только кратковременно, нажимая кнопку SB5. На длительную работу двигатель М2 можно включить только после того, как включится двигатель М1. После этого можно нажать кнопку SB4, пускатель КМ2 сработает, главными контактами включит двигатель М2, а блок - контактами зашунтирует кнопку SB4. Остановка двух двигателей происходит при нажатии кнопки SB1. Если сработает тепловое реле КК1 двигателя М1, то пускатель КМ1 отключит оба двигателя М1 и М2. Если сработает тепловое реле КК2 двигателя М2, то отключится только один двигатель М1, то мог бы произойти завал транспортера Т1 продуктом.

Когда возникает необходимость управлять двухдвигательным приводом с одновременным включением (вариант в), то нужно блок - контакты пускателя КМ1 включить в цепь питания катушки пускателя КМ2, а блок - контакты пускателя КМ2 - параллельно кнопке SB2. Тогда при её нажатии продолжительная работа двух электро-

двигателей возможна лишь после того, как блок - контакты пускателя КМ2 зашунтируют кнопку SB2.

Для реверсивного управления электродвигателем необходимы или два нереверсивных пускателя, или один специальный реверсивный, состоящий из двух. Два пускателя включают так, чтобы каждый из них подключал статор двигателя на свое направление вращения.

Схема управления включает катушки двух пускателей КМВ (вперед) и КМН (назад), нагревательные элементы и контакты тепловых реле КК, кнопки SB1 "Стоп", SB2 "Пуск вперед" и SB3 "Пуск назад". В схеме реверсивного управления обязательно должны быть блокировки, исключающие одновременное включение двух пускателей КМВ и КМН, в противном случае произойдет короткое замыкание. Для предотвращения одновременного включения двух пускателей управления ими осуществляется через кнопки SB2, SB3 имеющие как замыкающие, так и размыкающие контакты (вариант а). В цепь управления каждой катушки включается замыкающий контакт одной кнопки и размыкающий контакт другой (электрическая блокировка с помощью кнопочной станции). В этом случае при нажатии одновременно двух кнопок SB2 и SB3 разрываются цепи питания обоих катушек. Однако наличие блокировки только кнопками не исключает включения пускателей одновременно. Например, если контакты одного пускателя приварились, то другой кнопкой можно включить другой пускатель и вызвать короткое замыкание. Для предотвращения этого устраивают механическую или электрическую блокировку пускателей с использованием их размыкающих блок - контактов.

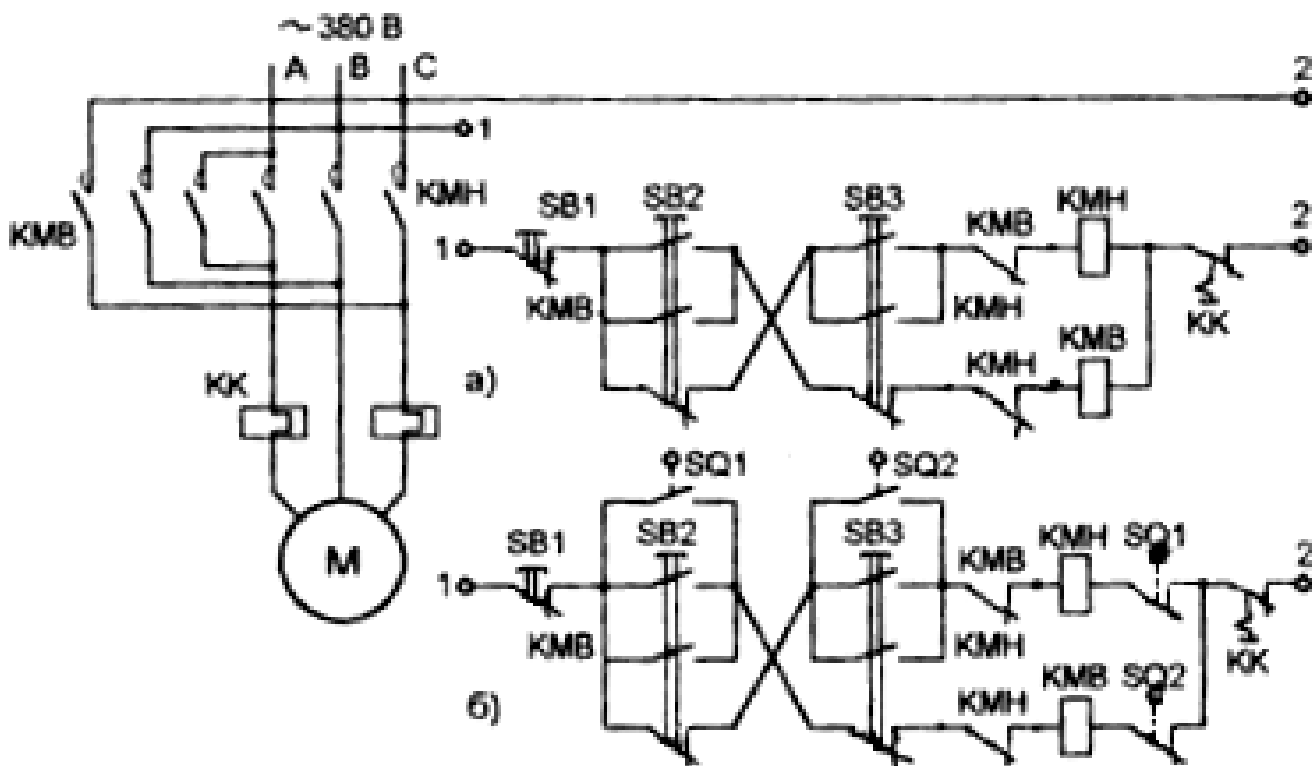


Рис. 5 – Схемы реверсивного управления электродвигателем

Механическая блокировка устроена так, что при включенном одном пускателе второй не может замкнуть свои главные контакты. Таковую блокировку имеют специальные реверсивные пускатели. Узел механической блокировки представляет собой

устройство, в котором при включении одного пускателя и перемещении его подвижной системы происходит нажатие на шток, поворачивающий коромысло (рычаг). В таком фиксированном положении рычаг не дает возможности произвести утопление второго штока, то есть препятствует включению другого пускателя, когда включен первый. При отсутствии механической блокировки (когда используются два неревверсивных пускателя) в цепь питания катушек пускателей включают противоположные блок - контакты (варианта б). Когда срабатывает один пускатель, например КМВ, то своими размыкающими блок - контактами КМВ он размыкает цепь питания катушки другого пускателя КМН. Реверсирование электродвигателя возможно по этим схемам как на предварительном отключении двигателя кнопкой SB1, так и при нажатии кнопки обратного хода. Таким образом получается схема реверсивного управления с двойной электрической блокировкой (вариант а, б).

Если необходимо осуществить автоматическое регулирование в зависимости от пути, то в схему (вариант б) включает размыкающие контакты конечных переключателей SQ1 и SQ2.

#### **5.4. Принципы построения схем управления электродвигателями в функциях скорости, тока, времени, пути**

Электрические цепи в схемах управления делятся на две категории: цепи главного тока и вспомогательные. К цепям главного тока (силовым) относятся силовые цепи двигателей и источников питания. Они вычерчиваются утолщенными линиями. Вспомогательные цепи включают в себя цепи управления, где присоединяются катушки пускателей, контакторов и реле, их контакты и другие элементы аппаратов. Кроме того, к вспомогательным цепям относятся цепи защиты, контроля, сигнализации, блокировки между отдельными электроприводами. Вспомогательные цепи изображаются тонкими линиями.

Управление пуском, реверсом и торможением электродвигателей постоянного (ДПТ) и переменного (АД) токов в большинстве случаев осуществляется в функции скорости (ЭДС), тока, пути и времени. Например, процесс разгона электропривода со ступенчатым ускорением, сопровождается изменением таких параметров: скорости, момента или тока нагрузки, времени. При автоматическом управлении электроприводом и технологическим процессом может применяться управление в функциях мощности, момента, пути, времени, натяжения, температуры, цвета, числа операций и других.

**Управление в функции скорости.** Управление в функции угловой скорости требует её контроля с помощью реле непосредственно или косвенно. По достижении заданного значения скорости соответствующее реле выдает команду на включение контакторов, пускателей ускорения.

Включение двигателя постоянного тока независимого возбуждения в функции скорости, пропорциональной ЭДС ( $E = \omega c\Phi$ ) дано на рис. 6.

При включении контактора напряжение на катушках реле ускорения KV1, KV2 или непосредственно контакторов КМУ1, КМУ2 равно падению напряжения  $\Delta U_{я}$  на якоре. Оно в начальный момент пуска недостаточно для их срабатывания. В процессе разгона ЭДС двигателя увеличивается и по достижении определенной угловой скоро-

сти возрастает до значения уставки срабатывания первого реле ускорения KV1 (контактора КМУ1), которое включает первый контактор КМУ1. После этого резистор R1 первой ступени ускорения шунтируется. При дальнейшем увеличении угловой скорости двигателя ЭДС достигает значения уставки второго реле KV2 (второго контактора КМУ2), падающего команду на шунтирование резистора R2 второй ступени ускорения.

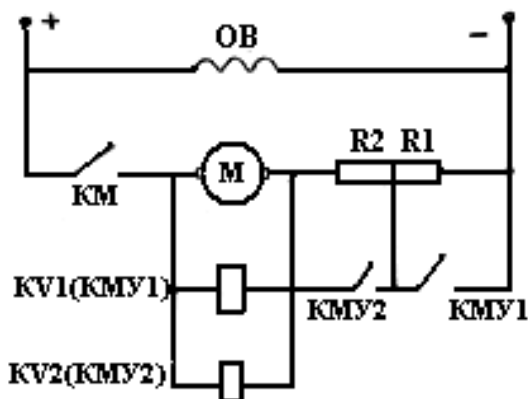


Рис. 6 – Схема управления в функции скорости ДПТ

Включение трехфазного асинхронного двигателя выполняется кнопкой SB2 "Пуск". При достижении угловой скорости вращения вала определенной величины замыкаются контакты реле контроля скорости КУКС (рис. 7).

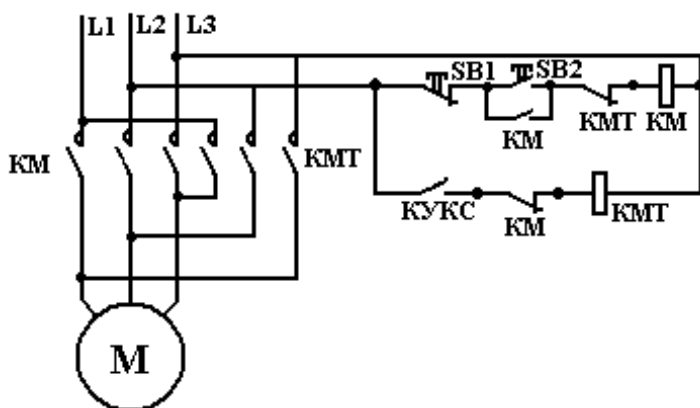


Рис. 7 – Схема управления в функции скорости АД

После нажатия на кнопку SB1 "Стоп" прекращается питание катушки пускателя KM и двигатель отключается. Одновременно замыкаются контакты KM в цепи катушки пускателя KMT, главные контакты которой вводят двигатель в режим противовключения. При остановке двигателя контакты КУКС вернутся в исходное положение и прекратится питание катушки KMT.

**Управление в функции тока.** Управление в функции тока осуществляется путем применения реле минимального или максимального тока. Эти реле включают контакторы, пускатели ускорения в моменты увеличения или уменьшения тока двигателя до заданного значения.

Ступени пускового реостата R1 и R2 (рис. 8, 9) шунтируются при снижении тока до заданного минимального значения.

Реле ускорения KA1, KA2 (может быть и их больше) отрегулированы так, что их размыкающие контакты после замыкания контактов контактора, пускателя KM ра-

замкнуться раньше, чем может включиться контактор, пускатель ускорения КМУ1, то есть собственное время срабатывания такого реле должно быть меньше собственного времени срабатывания контактора, пускателя. Реле КА1 и КА2 срабатывают при токе максимального значения и разгон электропривода начинается с полностью введенными резисторами в силовой цепи двигателя. По мере разгона двигателя ток в якоре (двигатель постоянного тока) или ротора (двигатель переменного тока) уменьшается. После снижения тока до минимального значения реле КА1 отпускает якорь и его замыкающий контакт замыкается, чем создается цепь включения катушки ускорения КМУ1. Силовыми контактами КМУ1 шунтируется резистор первой ступени R1, а через замыкающий блок - контакт обеспечивает питание катушки контактора, пускателя КМУ1. После срабатывания КМУ1 процесс разгона начинает контролировать реле КА2, замыкающий контакт которого сначала разомкнется, а при снижении тока до минимальной величины замкнется и включит контактор, пускатель КМУ2, шунтирующий ступень R2. Внешнее пусковое ступенчатое сопротивление в цепи якоря или роторе будет выведено. Схема управления контакторами, пускателями дана на рис.10.

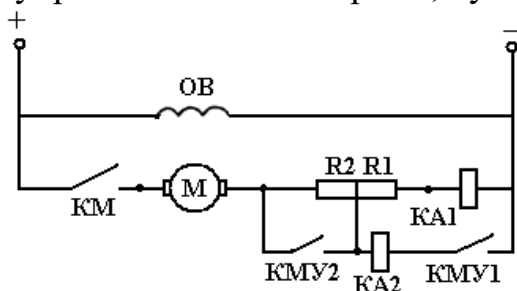


Рис. 8 – Схема управления в функции тока ДПТ

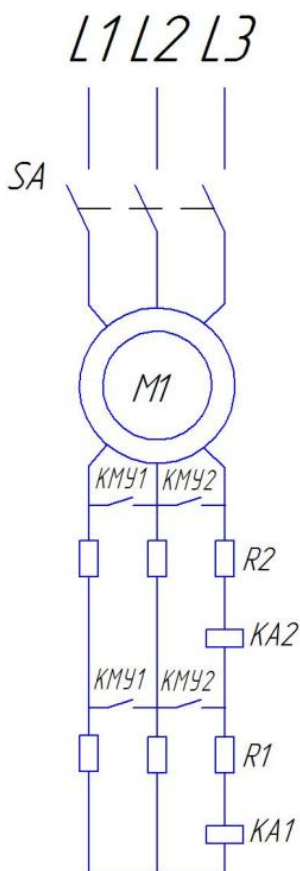


Рис. 9 – Схема управления в функции тока АД

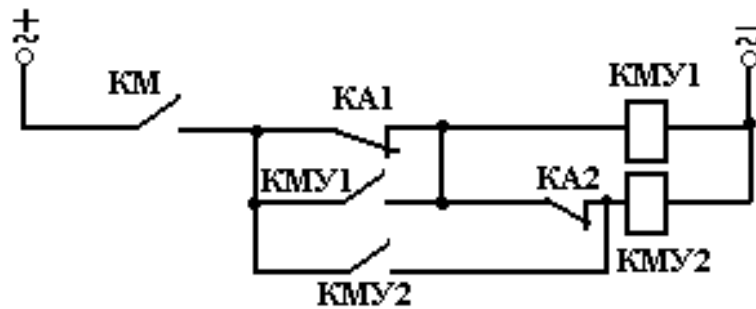


Рис.10 – Схема управления контакторами ускорения

**Управление в функции пути.** Управление электроприводом в функции пути осуществляется путевыми и конечными выключателями.

На рис.11 приводится схема автоматизации остановки электродвигателя при достижении производственного механизма крайних положений.

Запускают двигатель кнопкой SB2. Двигатель подключается к источнику тока, якорь начинает вращаться, а подвижная часть механизма, дойдя до определенного места (пройдя определенный путь), нажимает на шток конечного выключателя SQ. При этом размыкаются контакты SQ, размыкающие цепь катушки контактора КМ. Индуктор двигателя отключается от сети и он останавливается.

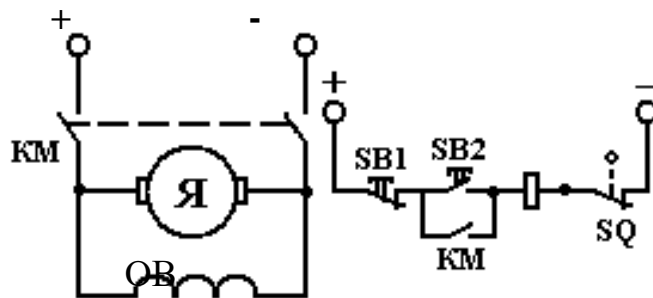


Рис. 11 – Схема управления в функции пути ДПТ

Если какой - либо элемент производственного механизма совершает возвратно - поступательное движение от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (рис. 12), то для подачи автоматических команд на реверсирование двигателя устанавливают путевые выключатели SQП1 и SQП2, контакты которых включают и выключают реверсивный электромагнитный пускатель КМВ (вперед) и КМВ (назад).

При несрабатывании путевых выключателей вследствие неисправности, движение подвижного элемента механизма будет ограничено конечными выключателями SQ1 и SQ2.

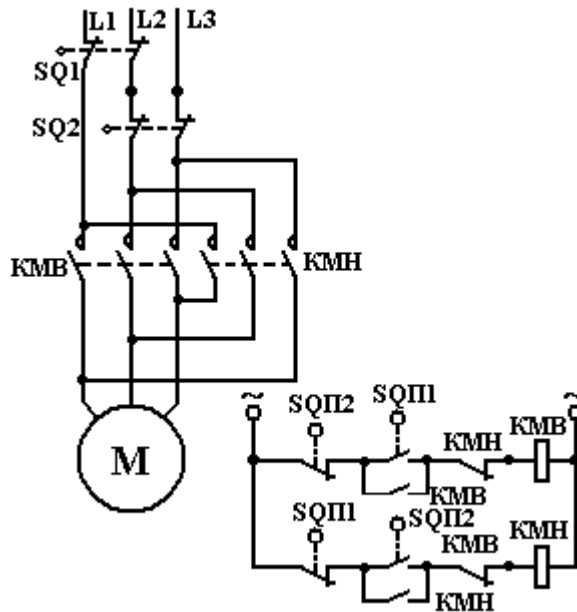


Рис.12 – Схема управления в функции пути АД

**Управление в функции времени.** Управление в функции времени осуществляется с помощью аппаратов контролирующих время и настраиваемых на отсчёт заданных выдержек времени. Каждое реле времени включает или отключает отдельный контактор, пускатель управления.

Реле времени КТ1, КТ2 осуществляют выдержку времени при отключении (шунтировании пусковых резисторов R1 и R2) при пуске шунтового двигателя постоянного тока (рис. 13). Поэтому в схеме их катушки получают питание после замыкания силового контактора КМ. С одной выдержкой времени через замыкающие контакты реле времени КТ1 включается катушка контактора ускорения КМУ1 и шунтируется первая ступень пускового реостата. С выдержкой времени уже другой продолжительности происходит аналогичное шунтирование второй ступени пускового реостата.

При нажатии на кнопку SB2 "Пуск" срабатывает пускатель ускорения КМУ, подключая в цепь статора трехфазного асинхронного двигателя резистор (рис.14.9). Одновременно через блок - контакты КМУ подключается реле времени КТ и шунтируется кнопка SB2 "Пуск". С выдержкой времени через замыкающие контакты реле времени КТ включается катушка пускателя КМ и отключается катушка пускателя КМУ. Статор двигателя подключается непосредственно к сети.

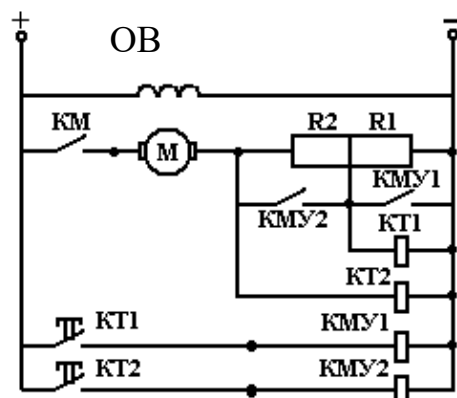


Рис.13 – Схема управления в функции времени ДПТ

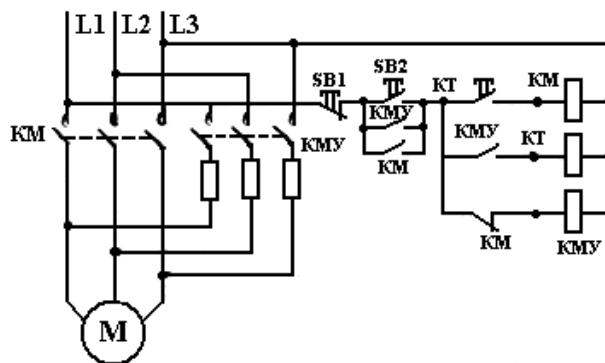


Рис.14 – Схема управления в функции пути АД

В схеме разомкнутого управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором в качестве силовых элементов, включенных в статорную цепь двигателя, используются тиристоры в сочетании с релейно-контактными аппаратами в цепи управления. Тиристоры, выполняя роль силовых коммутаторов, легко позволяют осуществить необходимый темп изменения напряжения на статоре двигателя путем регулирования угла включения тиристоров. При непрерывном изменении угла включения тиристоров в процессе пуска осуществляется так, чтобы приложенное напряжение к статору изменялось от нуля до номинального значения, и можно было ограничить токи и моменты двигателя.

Эффективное динамическое торможение имеет место в схемах с демпфирующими контурами. Добавление одного шунтирующего тиристора замыкающего цепь тока между двумя фазами, приводит к увеличению постоянной составляющей тока для создания достаточного тормозного момента в области высокой угловой скорости.

Типовая схема комплектного устройства (рис.15) состоит в силовой части из группы включенных встречно - параллельно тиристоров VD1, VD2 в фазе L1, тиристоров VD3, VD4 в фазе L3 и одного короткозамыкающего тиристора VD7 между фазами L1 и L2, для управления двигателем M. Схема включает блок управления БУ и релейно - контактный узел управления.

При нажатии кнопки SB2 включаются реле KL1 и KL2, на управляющие электроды тиристоров VD1...VD4 подаются импульсы, сдвинутые на  $60^\circ$  относительно питающего напряжения. К статору двигателя прикладывается пониженное напряжение, в связи с чем снижается пусковой ток и уменьшается пусковой момент. Двигатель начинает разгоняться. Размыкающий контакт реле KL1 отключает реле KV с выдержкой времени, определяемой резистором R7 и конденсатором C4. Размыкающими контактами реле KV шунтируются соответствующие резисторы в блоке управления тиристорами БУ, и к статору прикладывается полное напряжение.

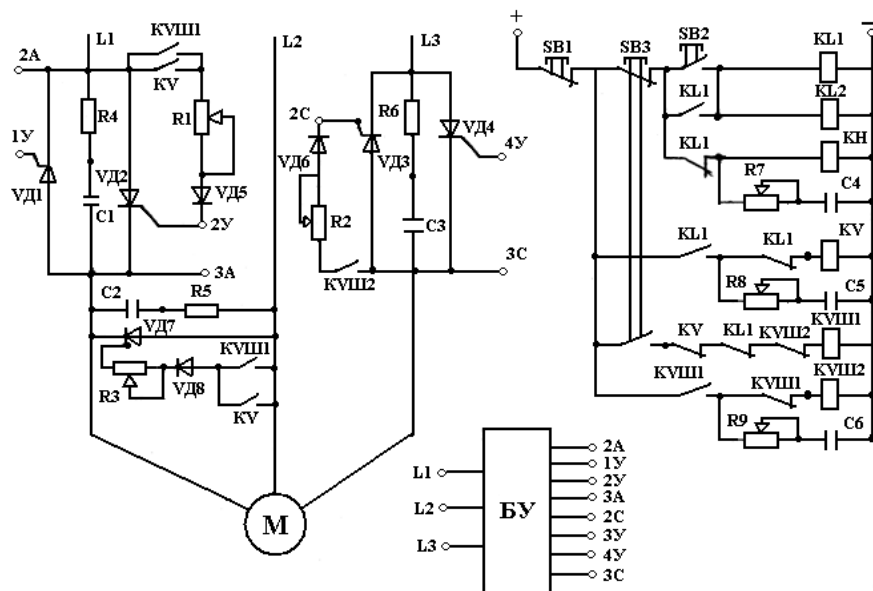


Рис.15 – Схема тиристорного управления пуском и торможением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

При нажатии кнопки SB1 теряет питание релейная схема управления, тиристоры VD1...VD4 отключаются, и напряжение со статора двигателя снимается. Включается за счет, запасенной конденсатором C5 энергии, на время торможения реле KV, которое своими контактами включает тиристоры VD2 и VD7. Через фазы L1 и L2 обмотки статора двигателя протекает ток однополупериодного выпрямления, обеспечивающий эффективное динамическое торможение. Это ток регулируется резисторами R1 и R3.

В схеме предусмотрен шаговый режим, выполняемый нажатием кнопки SB3. При этом включаются реле KVШ1 и тиристоры VD2, VD7. В этом случае по фазам L1 и L2 обмотки статора двигателя протекает ток однополупериодного выпрямления. При отпускании кнопки SB3 выключаются реле KVШ1 и тиристоры VD2 и VD7, включаются на короткое время за счет энергии, запасенной в конденсаторе C6, реле KVШ2 и тиристор VD3, и ротор двигателя совершает шаг (поворачивается на некоторый угол вследствие поворота примерно на тот же угол результирующего вектора потока статора). Размер шага не строго фиксирован и зависит от напряжения сети, момента инерции привода и от среднего значения выпрямленного тока. Переход на шаговый режим работы двигателя возможен после динамического торможения и остановки, так как реле KVШ1 первоначально можно включить только после замыкания размыкающих контактов KL1 и KV.

**Тиристорное управление синхронным электродвигателем.** Преимуществом тиристорных преобразователей по сравнению с электромашинными является их высокое быстродействие (от 0,1...0,5с для электромашинных до 0,005...0,01с для тиристорных преобразователей). Схемы с тиристорами применяются в электроприводе для различных целей: получение регулируемого напряжения, преобразования постоянного тока в переменный (инверторы и преобразователи частоты), бесконтактной коммутации цепей (бесконтактные пускатели, ключи и переключатели), получения различных режимов работы электроприводов постоянного и переменного токов - включение и реверсирование двигателей, регулирование скорости, динамического торможения и торможения противовключением, а также специальных режимов асинхронного двигателя



Блок управления БУТП содержит и автоматический регулятор возбуждения, предназначенный для регулирования тока возбуждения синхронного двигателя. Обозначенный на схеме нелинейный резистор  $R_p$  (варистор) служит для защиты преобразователя от перенапряжений.

**Системы управления крановыми механизмами.** К основным крановым механизмам относятся также механизмы, которые, непосредственно участвуя в подъемно-транспортных операциях, определяет их темп и качество: механизмы подъема, передвижения, поворота. Крановое электрооборудование должно удовлетворять следующим особым условиям эксплуатации: изменение нагрузки в широких пределах значений и направления действия, большой диапазон регулирования скорости при различных значениях и направлениях нагрузки, большая частота включений, постоянное чередование периодов работы и пауз, значительные внешние механические воздействия и высокая вероятность различных перегрузок, повышенные требования к надежности устройств отключения и торможения электропривода. Все многообразие режимов эксплуатации сведено к четырем: Л- легкий, С- средний, Т- тяжелый, ВС- весьма тяжелый.

В современной грузоподъемной технике используются разнообразные крановые механизмы, число которых превышает 100 наименований, а почти каждое наименование имеет несколько исполнений, отличающихся по грузоподъемности, скорости механизмов, конструктивным особенностям и тому подобное.

Управление крановыми электроприводами всех типов и назначений выполняется оператором, осуществляющим визуальный прямой или дистанционный контроль за грузовыми операциями. Поэтому все операции управления крановыми электроприводами автоматизируются на базе разомкнутых систем, скоростные параметры которых, моменты включения и отключения выбираются оператором. Все многообразие систем управления крановых электроприводов делится на три группы:

- непосредственного управления исполнительными электродвигателями постоянного и переменного токов с помощью комплектных силовых коммутационных аппаратов (силовых кулачковых контроллеров);
- дистанционного управления исполнительными двигателями постоянного и переменного токов, получающими питание от сети с помощью комплектных устройств коммутации силовых цепей (магнитных контроллеров);
- управление ДПТ и АД с питанием их от различного рода преобразователей тока, частоты напряжения.

Среди систем управления, обладающих высокими регулировочными параметрами, система Г-Д долгое время являлась единственной, обеспечивающей широкий диапазон регулирования. Система Г-Д состоит из двигателя постоянного тока, получающего питание от генератора постоянного тока с регулируемым напряжением. Управление электроприводом по системе Г-Д осуществляется путем изменения значения и направления тока возбуждения генератора. Изготавливаются два типа систем управления: с релейно-контакторным регулированием в цепях возбуждения; с бесконтактным регулированием при помощи магнитных усилителей.

Из систем переменного тока применяются приводы с многоскоростными асинхронными короткозамкнутым и фазным ротором двигателями, двухдвигательные асинхронные приводы.

Однако для кранов, работающих в напряженном режиме и требующих обеспечения интенсивных и в то же время плавных переходных процессов, глубокого регулирования скорости, должны быть достаточно надежными нашли применение приводы с использованием тиристорных преобразователей частоты ПЧ-М, что позволяет при применении асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором получить большой диапазон регулирования (60:1 и выше) и добиться высоких динамических показателей. Тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью относительно просты по схеме и конструктивному исполнению.

Из подъемников рассмотрим электрифицированные тали и кран-балки. Они широко распространены на ряде промышленных и строительных предприятиях, особенно в тех случаях, когда необходимо перемещения грузов и деталей машин в период строительства, монтажных и ремонтных работ как внутри производственных помещений, так и на открытых территориях. Тали и кран - балки по своим габаритам меньше мостовых кранов, вследствие чего значительно сокращаются размеры их установки. Они состоят из двух конструктивно связанных механизмов: подъема и передвижения, каждый из которых приводится в движение собственным асинхронным двигателем. Передвигается таль по двутавровой балке на ходовых колесах, приводимых двигателем через редуктор. Конструкция кран - балки отличается от тали тем, что балка на которой она перемещается, может двигаться вдоль производственного помещения.

Схема управления двигателем тали, кран - балки приведена на рис.17. Напряжение к силовым цепям и катушкам пускателей подъема КМП, спуска КМС, а также передвижения вперед КМВ, назад КМН подводится через автоматический выключатель QF.

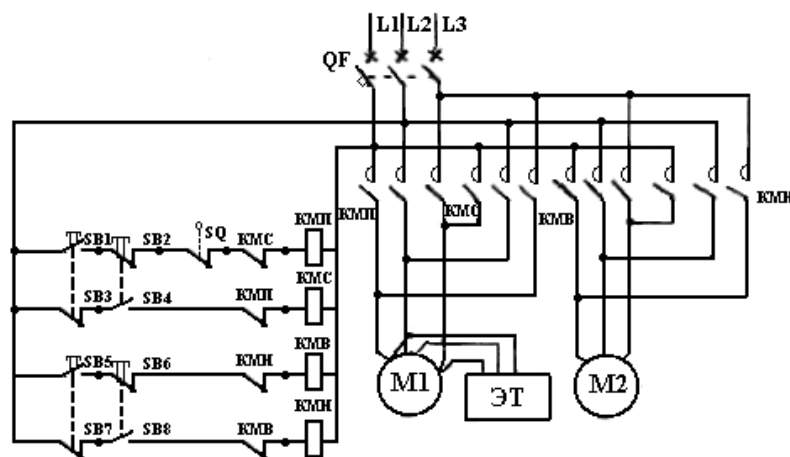


Рис. 17 Принципиальная схема управления электроприводом тали, кран-балки

Движение подъемного устройства вверх ограничивается конечным выключателем SQ. Блокировка пускателей каждого двигателя от одновременного включения осуществляется двухцепными кнопками, установленными на подвесной кнопочной станции, и размыкающими контактами пускателей КМС в цепи КМП и наоборот, КМН в цепи КМВ и наоборот. При работе двигателя необходимо держать соответствующую кнопку управления во включенном состоянии, так как на таях и кран - балках не применяется шунтирование кнопок "Пуск" соответствующими блок - контактами пускателей. Это предотвращает уход подъемного устройства от оператора, так как, если последний отпускает подвесную кнопочную станцию, то двигатель отключается от сети.

**Схемы управления механизмами непрерывного транспорта.** Механизмы непрерывного транспорта проще по своему устройству и эксплуатации, чем такие транспортные средства, как краны и подъемники, имеющие циклический характер нагрузки. По количеству перемещаемых грузов и длине трасс механизмы непрерывного транспорта часто могут успешно соревноваться с автомобильным и железнодорожным транспортом и могут быть использованы для перевозки пассажиров. Наиболее распространенными механизмами непрерывного транспорта являются конвейеры различных типов, конструкция которых определяется главным образом характером перемещаемых грузов, весом и скоростью их движения: ленточные, пластинчатые, роликовые, цепные, подвесные. Наиболее распространены ленточные конвейеры для транспортировки сыпучих грузов: зерна, кормов, песка, глины, руды, угля и тому подобное.

К электроприводу конвейеров предъявляются требования высокой надежности, простоты обслуживания, плавности и обеспечение повышенного момента при пуске, небольшого регулирования скорости и согласованному вращению нескольких электроприводов при значительной длине конвейера (до 1500м). Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и с контактными кольцами. Двигатель должен располагаться, как правило, после участка с наибольшей нагрузкой (большое число грузов, крутые подъемы и перегибы, наивысшая точка подъема). Применение многодвигательных приводов позволяет улучшить эксплуатационные показатели по сравнению с одиночным. При работе вхолостую может работать один двигатель, под нагрузкой два, а в случае завалов конвейера транспортируемыми материалами возможен и пуск всех двигателей одновременно. Кроме того улучшается равномерность натяжения ленты или цепи конвейера, уменьшается нагрузка тягового органа (механическое оборудование может быть выбрано более легким). Однако при этом возникает необходимость в согласованном движении нескольких двигателей конвейеров. Для этого применяются системы согласованного вращения по схеме машин двойного питания, то есть статорные обмотки двигателей подключены в сеть переменного тока постоянной частоты, а роторные обмотки двигателей питаются от преобразователя частоты.

Основным средством автоматизации, применяемым в поточно-транспортных системах, являются блокировки, осуществляющие между электроприводами взаимную связь, соответствующую технологическому процессу. Блокировки обеспечивают определенный порядок пуска и остановки отдельных двигателей. Кроме того, на всю установку имеется централизованное управление, общее для всех механизмов данной поточно-транспортной системе. Для пуска участка достаточно включить двигатель механизма, расположенного последним по потоку материала. Это приведет к автома-

тическому включению всех предшествующих механизмов этого участка. Блокировочные связи электроприводов обеспечивают необходимую последовательность пуска механизмов, соответствующую технологическому потоку материала. Делается это во избежание завала транспортируемым материалом отдельных механизмов. В этих же цепях блокировки приводят к отключению двигателей всех предшествующих по потоку механизмов при остановке любого механизма.

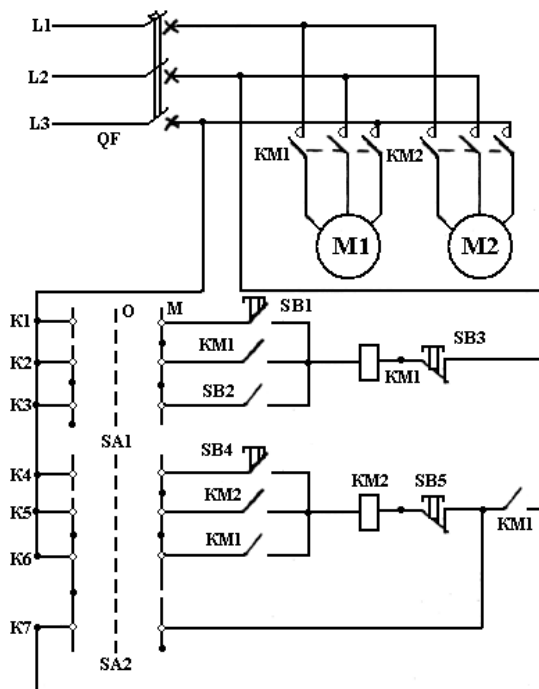


Рис.18 – Принципиальная схема управления электроприводом тали, кран-балки



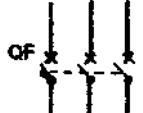




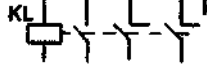
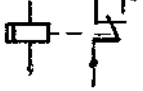
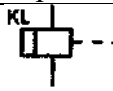
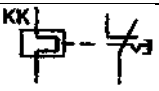
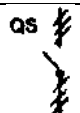
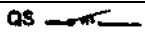

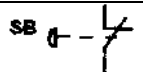
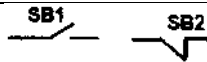
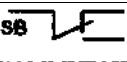
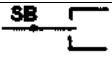
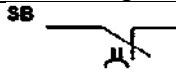
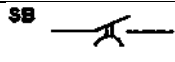
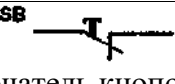
Схема предусматривает два режима управления: А – централизованное автоматическое включение, М - местное включение. Выбор режима управления производится с помощью универсальных переключателей SA1 и SA2.

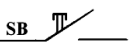

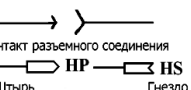



Местное управление осуществляется оператором непосредственно у места установки пусковых аппаратов привода конвейера. Универсальные переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение М. При этом замыкаются контакты К1, К2, К4, К5, К7 (шунтируется блок – контакты KM1 в цепи катушки пускателя KM2). Пуск и остановка транспортеров в этом режиме производится кнопками SB1 и SB4 «Пуск», SB3 и SB5 «Стоп».

Автоматическое централизованное управление позволяет освободить человека от непосредственного участия в пуске каждого приводного двигателя технологической цепи механизмов. При этом способе управления оператор дает только начальный командный импульс на пуск и остановку механизмов. Универсальные переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение А. При этом замыкаются контакты К2, К3, К5, К6. Двигатели пускаются поточно-транспортной системой кнопкой SB2 «Пуск». При этом сначала запускается двигатель М1, блок – контакты катушки пускателя KM1 замыкаются в цепи управления катушки пускателя KM2. На неё подается напряжение и запускается двигатель М2. Двигатель М2 останавливается при нажатии на кнопку SB5 «Стоп», а двигатели М1 и М2 одновременно останавливаются кнопкой SB3 «Стоп».

Таблица 1 – Буквенные обозначения элементов электрических схем

| Основные обозначения | Наименование элемента   | Дополнительное обозначение и вид устройства   |
|----------------------|---|---|
| A                    | Устройство  | AA – регулятор тока, АК – блок реле, AKS – устройство   |
| B                    | Преобразователь   | BA – громкоговоритель, BF – телефон, BK – измерительный преобразователь тепловой, BL – фотоэлемент, BM – микрофон, BS – звукосниматель  |
| C                    | Конденсаторы  | CB – батарея конденсаторов силовая, CG – блок конденсаторов зарядный  |
| D                    | Интегральные схемы, микросборки   | DA – ИС аналоговая, DD – цифровая, логический элемент   |
| E                    | Элементы разные   | EK – тепло электронагреватель, EL – лампа осветительная   |
| F                    | Разрядники, предохранители, устройства защиты                                   | FA – дискретный элемент защиты по току мгновенного действия, FP – то же, по току инерционного действия, FU – предохранитель плавкий, FV – разрядник   |
| G                    | Генераторы, источники питания   | GB – батарея аккумуляторов, GC – синхронный компенсатор, GE – возбудитель генератора  |
| H                    | Устройства индукционные и сигнальные  | HA – прибор звуковой сигнализации, HG – индикатор, HL – прибор световой сигнализации, HLA – табло сигнальное, HLG – лампа сигнальная с зеленой линзой, HRL – лампа сигнальная с красной линзой, HLW – лампа сигнальная с белой линзой, HV – индикаторы ионные и полупроводниковые |
| K                    | Реле, контакторы, электромагнитные пускатели                                    | KA – реле токовое, KH – реле указательное, KK – реле электротепловое, KM – контактор и электромагнитный пускатель, KT – реле времени, KV – реле напряжения, KCC – реле команды выключения, KCT – реле команды отключения, KL – реле промежуточное                                 |
| L                    | Катушки индуктивности, дроссели   | LL – дроссель освещения, LR – реактор, LM – обмотка возбуждения электродвигателя  |
| Q                    | Выключатели и разъединители силовые   | QF – выключатель автоматический, QS – разъединитель   |
| R                    | Резисторы   | RK – терморезистор, RP – потенциометр, RS – шунт измерительный, RU – варистор, RR – реостат   |
| S                    | Устройства коммутации в цепях управления, сигнализации и измерительных приборов | SA – выключатель или переключатель, SB – выключатель кнопочный, SF – выключатель автоматический   |
| T                    | Трансформаторы, автотрансформаторы  | TA – трансформатор тока, TV – трансформатор напряжения  |
| U                    | Преобразователи   | UB – модулятор, UR – демодулятор, UG – блок питания, UF – преобразователь частоты   |
| V                    | Приборы электровакуумные и полупроводниковые                                    | VD – диод, стабилитрон, VL – прибор электровакуумный, VT – транзистор, VS – тиристор  |
| X                    | Соединители контактные  | XA – токосъемник, XP – штырь, XS – гнездо, XW – соединитель высокочастотный   |
| Y                    | Устройства механические с электромагнитным приводом                             | YA – электромагнит, YAB – замок электромагнитный  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|  <p>Электродвигатель</p>   |  <p>Электродвигатель при реверсировании</p>  |  <p>Выключатель автоматический трехполюсный</p>   |
|  <p>Выключатель автоматический однополюсный</p>  |  <p>Силовые контакты контактора, пускателя</p>   |  <p>Катушки контактора и пускателя, реле промежуточного электромагнита</p>              |
| <p>Местное Дистанционное</p>  <p>Переключатель с контактами на несколько направлений</p> |  <p>Реле электрическое с замыкающим, размыкающим и переключающими контактами</p>                 |  <p>Реле поляризованное на одно направление тока в обмотке с нейтральным положением</p> |
|  <p>Реле поляризованное на оба направления тока в обмотке с нейтральным положением</p>   |  <p>Реле электротепловое без самовозврата, с возвратом посредством вторичного нажатия кнопки</p> |  <p>Многополюсный выключатель в однолинейном исполнении</p>                             |
|  <p>Переключатель, выключатель трехполюсный</p>  |  <p>Предохранитель выключателя, разъединитель</p>  |  <p>Выключатель кнопочный с размыкающим контактом "Аварийная остановка"</p>           |
|  <p>Выключатель с замыкающим и размыкающим контактами, контактами без самовозврата</p> |  <p>Контакт коммутационного устройства переключающий, общее назначение</p>                     |  <p>Контакт переключающийся трехпозиционный с нейтральным положением</p>              |
|  <p>Включатель кнопочный вытяжной с размыкающим контактом</p>                          |  <p>Включатель кнопочный вытяжной с замыкающим контактом</p>                                   |  <p>Включатель кнопочной нажимной с размыкающим контактом и самовозвратом кнопки</p>  |

|   |  |   |
|---|--|---|
|  <p>Выключатель кнопочной нажимной с замыкающим контактом и самовозвратом кнопки</p> |  <p>X1 Контакт неразборного и разборного соединений</p>         |  <p>Контакт разъёмного соединения<br/>Штырь Гнездо</p> |
|  <p>Контакты, скользящие по линейной и кольцевой поверхностям</p>                    |  <p>Гнездо пятипроводного контактного разъёмного соединения</p> |  <p>Резистор, конденсатор. Общее назначение.</p>       |

## Лекция 6.

### АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

- 6.1. Общие сведения и классификация аппаратов управления и защиты.
- 6.2. Аппараты неавтоматического управления. Назначение, устройство, выбор.
- 6.3. Аппараты автоматического управления. Назначение, устройство, выбор.
- 6.4. Аппараты защиты. Назначение, устройство, выбор.

#### 6.1. Общие сведения и классификация аппаратов управления и защиты.

Электрическая аппаратура, применяемая в осветительных и силовых сетях для целей управления или защиты, может быть классифицирована по различным признакам.

В зависимости от природы явления, которое положено в основу действия аппаратов, их можно разделить на:

- **аппараты ручного управления** (рубильники, переключатели, выключатели, контроллеры), действие которых происходит в результате механического воздействия на них внешних сил;

- **электромагнитные аппараты**

(магнитные пускатели, контакторы, электромагнитные реле), работа которых основана на электромагнитных силах, возникающих при работе аппарата.

В зависимости от выполняемых функций аппараты подразделяют на:

- **коммутационные**, предназначенные для включения и отключения различных цепей.

Коммутационная аппаратура может быть **не автоматического управления** (рубильники, переключатели) и **автоматического управления** (*реле, магнитные пускатели*, контакторы, автоматические выключатели);

- **токоограничивающие и пускорегулирующие** (реостаты, контроллеры);

- **аппараты защиты электрических цепей** (реле защиты, предохранители).

Аппаратура может работать в различных режимах: длительно, кратковременно или в условиях повторно-кратковременной нагрузки.

Аппараты различаются также по следующим признакам:

- номинальному току и напряжению;

- числу полюсов (фаз);

- роду тока (постоянный или переменный);

- виду присоединения (с передним или задним присоединением проводов);

- способу защиты от воздействия окружающей среды (открытое исполнение, защищенное, пылезащищенное) и другим признакам.

## 6.2. Аппараты неавтоматического управления. Назначение, устройство, выбор

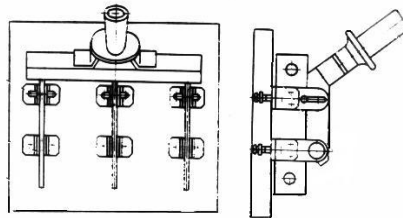
Простейший аппаратом ручного управления в электрических сетях постоянного и переменного тока являются рубильники.

Они применяются в сетях до 500 В для замыкания и размыкания цепей при токах от 100 до 5000 А.

**Рубильники** разделяются по следующим признакам:

- роду привода (с центральной рукояткой и с рычажным приводом);
- номинальному току;
- наличию разрывных контактов;
- числу полюсов – ножей (одно, двух и трехполюсные);
- конструкции рукоятки (с круглой и продолговатой);
- способу присоединения проводов (с задним и передним присоединением);
- наличию изоляционной плиты.

Основной частью рубильника является нож, который шарнирно поворачивается в нижнем контакте. При включении нож входит в верхний неподвижный контакт.



Трехполюсный переключатель с разрывными контактами

Рубильник с разрывными контактами, кроме главных ножей, имеет дополнительные ножи, связанные с главными ножами при помощи пружин.

В момент отключения из верхних контактов выходят сначала главные ножи, затем под действием пружин быстро отключаются разрывные ножи и размыкают цепь. Электрическая дуга, появившаяся в месте разрыва, быстро гаснет, и ножи меньше обгорают.

Для ручного включения и отключения электрических цепей постоянного тока напряжением до 250 В и переменного тока напряжением до 380 В применяются **пакетные выключатели**.



**Пакетный выключатель** состоит из нескольких малогабаритных однополюсных выключателей, расположенных на общей оси один над другим и управляемых при помощи общей рукоятки.

Пакетные выключатели предназначены для небольшого числа включений (до 15—20 вкл. В час).

Пакетные выключатели выполняются одно-, двух- и трехполюсными и на токи от 6 до 100 А.

В электрических схемах с незначительными токами применяются однополюсные переключатели (тумблеры).



При электрификации станков широкое распространение получили микропереключатели.

Эти переключатели заключены в пластмассовый корпус, выпускаются токи до 3 А при напряжениях до 380 В. Микропереключатели обеспечивают моментное мгновенное действие контактной системы.



Для дистанционного управления (на расстоянии до 300 м) электромагнитным и аппаратами и для цепей сигнализации применяются кнопки управления КУ-121. Кнопочные станции комплектуются из 1, 2 и 3 кнопочных элементов. Каждый кнопочный элемент имеет один нормально открытый контакт и один нормально закрытый контакт.



Нормальным положением контактов условно называется такое положение, когда внешнее воздействие на кнопки отсутствует.

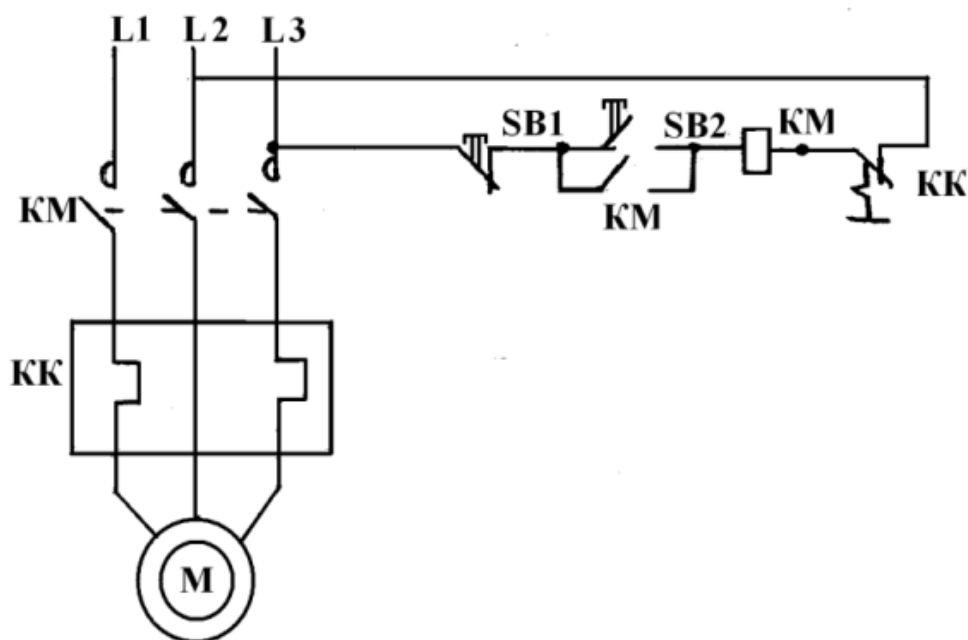
Номинальное напряжение, на которое рассчитано применение кнопок управления, не должно превышать 440 В при постоянном токе и 500 В при переменном токе.

**Критерии выбора:**  $U_k \geq U_n$ ,  $I_k \geq I_n$

### 6.3. Аппараты автоматического управления. Назначение, устройство, выбор

#### Магнитные пускатели.

Предназначены для дистанционного управления электроустановками (для электродвигателей пуск, остановка, торможение, реверсирование), а также при наличии теплового реле для защиты от небольших, но длительных перегрузок. Осуществляет пускатель так же защиту электроустановки от снижения напряжения или его исчезновения и от самозапуска двигателя после восстановления напряжения, так называемая нулевая защита.



Электромагнитные пускатели различаются между собой по:

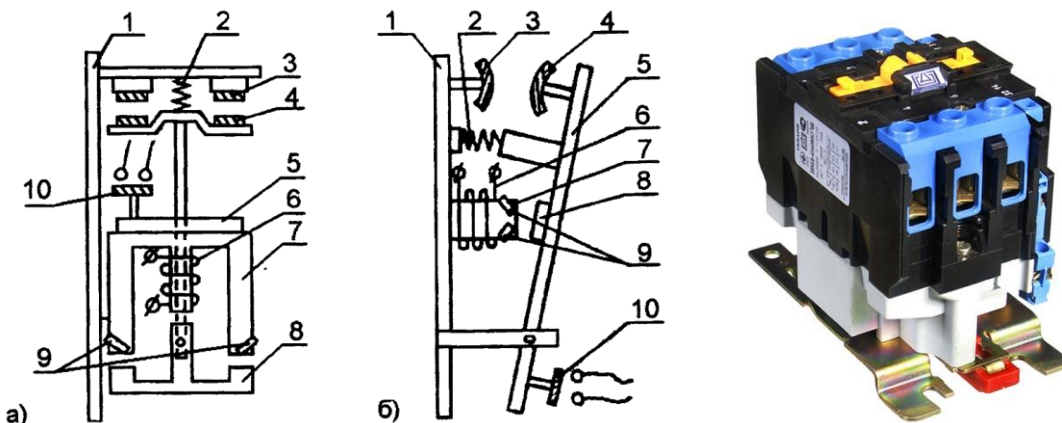
- назначению (нереверсивные, реверсивные);
- степени защиты от воздействия окружающей среды;
- наличию тепловых реле (без тепловых реле, с тепловыми реле);
- виду блокировки в реверсивных пускателях (механической, электрической, механической и электрической одновременно);
- наличию встроенных в оболочку пускателя кнопок управления (без кнопок, с кнопками);
- величине, габариту или передаваемой мощности; напряжению главной цепи и цепи управления.

Главные силовые (линейные) контакты пускателя включают в рассечку проводов, питающих электроустановку (электродвигатель).

В провода двух или трёх фаз включаются также нагревательные элементы тепловых реле.

Катушку электромагнита подключают к сети через размыкающие контакты тепловых реле и кнопки управления.

Находят применение пускатели серий ПМЕ и ПА, а также выпускаемые в настоящее время серии ПМ12, ПМЛ, ПМС, ПМА. Пускатели серий ПМ12, ПМЕ, ПМЛ, ПМС, ПМА имеют прямоходовую Ш - образную или П - образную электромагнитную систему, серий ПА и ПАЕ - поворотнo-рычажную конструкцию.

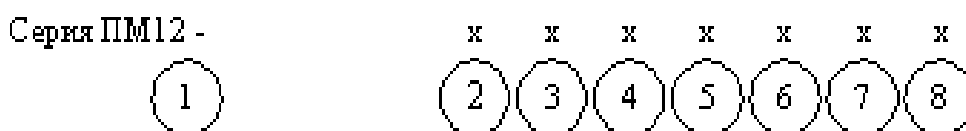


Устройство магнитных пускателей с прямоходовой Ш-образной (а) и поворотно-рычажной П-образной (б) магнитными схемами: 1 – основание; 2 – пружина; 3 – неподвижный контакт; 4 – подвижный контакт; 5 – траверса; 6 – катушка; 7 – сердечник; 8 – якорь; 9 – короткозамкнутый виток; 10 – мостик блок-контактов

Магнитная система пускателей собрана из отдельных листов электротехнической стали. Катушка пускателя питается переменным током, поэтому в магнитопроводе возникает пульсирующий магнитный поток. Для устранения вибрации, износа якоря и подгорания главных контактов торец сердечника в области прилегания к нему якоря разрывают и часть его охватывают демпферным короткозамкнутым витком из меди или латуни. В короткозамкнутом витке переменный магнитный поток индуцирует ЭДС, и протекающий по нему ток создает свой магнитный поток, сдвинутый по фазе по отношению к основному. Таким образом, в воздушном зазоре возникают два магнитных потока, сдвинутых между собой по фазе. Их сумма в любой момент не равна нулю, следовательно, сила притяжения электромагнита не уменьшается до нуля.

Пускатели выпускаются по величине 0...7 на мощность 1...100 кВт и токи 4...200 А. Частота включений в час по механической износостойкости при номинальном токе для пускателей по 5 - ую величину составляет 3600, 6 - ой и 7 - ой величин - 2400. Механическая износостойкость для пускателей по 5 - ую величину составляет 16 млн. циклов, 6 - ой и 7 - ой величин - 5 млн. циклов. Коммутационная (электрическая) износостойкость пускателей составляет 3 млн. циклов.

Электромагнитный пускатель в основном выбирают по величине или габариту, исполнению, наличию реверса и теплового реле, напряжению и другим признакам согласно буквенной и цифровой расшифровке типа пускателя. Структура условного обозначения пускателей наиболее распространенных серий приводится ниже.



1 – Обозначение серии.

2 – Условное обозначение величины номинального тока: 010 - 10А, 025 - 25А, 040 - 40А, 063 - 63А, 100 - 100А, 125 - 125А, 160 - 160А, 250 - 250А.

3 – Обозначение исполнения пускателей по назначению и наличию теплового реле: 1- без теплового реле, нереверсивные; 2 - с тепловым реле, нереверсивные; 5 - без теплового реле, реверсивные, с электрической и механической блокировками; 6-с тяговым реле, реверсивные, с электрической и механической блокировкой.

4 – Обозначение исполнения пускателей по степени защиты и наличию кнопок: О - IP00; 1-IP54 без кнопок; 2-IP54 с кнопками "Пуск", и "Стоп"; 4-IP40 без кнопок; 5-IP20; 6-IP40 с кнопками "Пуск", и "Стоп".

5 – Обозначение исполнения пускателей по роду тока цепи управления: О - переменный ток. Номинальное напряжение втягивающей катушки, В: 24,36,40,48,110,127,220,230,240,380,400,415,440,500,660В частоты 50 Гц.

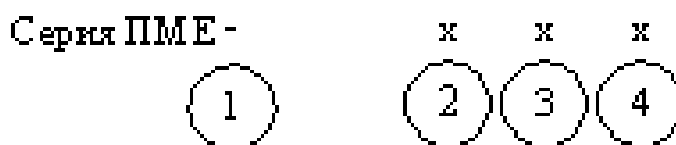
6 – Назначение климатического исполнения по ГОСТ 15150 - 69: У-стандартное исполнение, Т - тропическое исполнение.

7 – Обозначение категории размещения по ГОСТ 15150 - 69.

8 – Обозначение исполнения пускателей по износостойкости: А, Б, В.

9 – Обозначение ТУ, по которым выпускается пускатель: ТУ 16-89 и ГФР. 644236.033 ТУ.

Применяемые типы тепловых реле для пускателей: РТТС-10, РТТ-121, РТТ-131,



РТТ-231, РТТ310, РТ362.

1 – Обозначение серии.

2 – Обозначение габарита (величины) по передаваемой мощности: 0-1кВт, 1-4кВт, 2-10кВт.

3 – Обозначение исполнения по защищенности от воздействия окружающей среды: 1- открытое, 2-защищенное, 3-пылебрызгозащищенное, 4-пылевлагонепроницаемое.

4 – Обозначение исполнения пускателей по назначению, наличию реверса и теплового реле: 1-нереверсивный без реле, 2-нереверсивный с реле, 3-реверсивный без реле, 4-реверсивный с реле.

Номинальное напряжение втягивающей катушки 24, 36, 40, 48, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 440, 500, 660В частоты 50 Гц.

Пускатели изготавливаются по климатическому исполнению и категории размещения: УХЛ4, УЗ, ТЗ, О4, а исполнению по износостойкости: А,Б,В.

### **Контактор.**

Представляет собой двухпозиционный аппарат с самовозвратом, предназначенный для частых коммутаций рабочих токов, а также для редких отключений при токах перегрузки.

Включение контакторов - дистанционное с помощью встроенных электромагнитов.

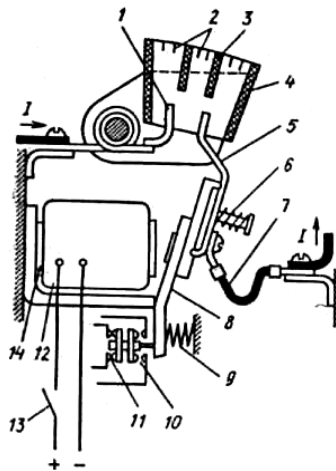
Контакторы различаются между собой по:

роду тока главной цепи и цепи управления (постоянного, переменного);  
числу главных полюсов (от одного до пяти), номинальному току главных цепей (4;6,5;10,16,25,40,63,100,160,250,400,630,1000,2500А);  
номинальному напряжению главной цепи (постоянное - 110,220,400,600В;  
переменное – 220,380,500,660,1140В);

- номинальному напряжению включающей катушки (постоянное - 24,48,60,110,220В; переменное - 24,36,110,127, 220,230,240,380,400,415,440,500,660В);
- способу гашения дуги (с магнитным гашением или дугогасительной решеткой);
- наличию и исполнению блок-контактов;
- роду присоединения проводников;
- классу, соответствующему частоте включений;
- категории размещения;
- воздействию климатических факторов;
- степени защиты.

Механическая износоустойчивость позволяет осуществлять от 250 тысяч до 10 млн. циклов, время срабатывания контакторов лежит в пределах от десятых до сотых долей секунды.

Контакторы имеют конструкцию электромагнита с якорем клапанного (откидного) типа, и прямоходовым якорем, подобную конструкцию электромагнита магнитного пускателя.



Устройство контактора постоянного тока: 1 – неподвижный главный контакт; 2 – искрогасительная решетка; 3 – изоляционные перегородки; 4 – дугогасительная камера; 5 – подвижный главный контакт; 6, 9 – пружина; 7 – гибкий проводник; 8 – якорь; 10 – замыкающиеся блок-контакты; 11 – размыкающиеся блок-контакты; 12 – катушка электромагнита; 13 – контакты подачи напряжения на катушку; 14 – неподвижный сердечник.

Выпускаются контакторы постоянного тока следующих типов: КПВ 600, КПВ 620, КП, КПД, КПМ, КН, КМИ: переменного тока КТ 600, СNM, КТ 7000, КТП 600, КТП 64, КТП 65, КТВ, КТД, КТИ, КТУ.

Буквенные обозначения типов контакторов постоянного и переменного токов расшифровываются следующим образом: К – контактор, П – постоянного тока, Т – переменного тока, В – вертикальной установки, Д – промышленного назначения, М –

морского исполнения или модификация, Н – повышенной надежности, У – угольной промышленности. Когда в обозначении после буквы Т стоит буква П, то это означает, что контактор переменного тока имеет питание цепей управления на постоянном токе. Цифровое обозначение контакторов не систематизировано (каждая серия имеет свое обозначение типа) и поэтому всегда следует обращаться к паспорту контактора на предмет его технических данных. При выборе контакторов необходимо исходить из условий их использования и характеристик электропривода. Следующие основные требования: обеспечение необходимой коммутационной способности, нагрева и коммутационной износостойкости.

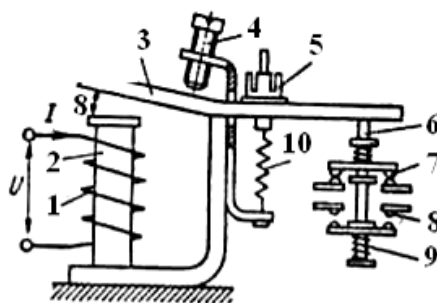
### Электромагнитное реле.

Реле – коммутационное устройство, предназначенное производить скачкообразные изменения в управляемых цепях при заданном значении электрических воздействующих величин.

Электромагнитное реле представляет собой аппарат для коммутации слаботочных цепей управления электропривода в соответствии с электрическим сигналом, подаваемым на его катушку.

Область применения реле очень широкая. Они используются в качестве датчиков тока и напряжения, промежуточных элементов для передачи команд из одной цепи в другую и размножения сигналов усилителя электрических сигналов, датчиков времени, выходных элементов различных датчиков координат электропривода и технологических параметров рабочих машин и механизмов.

Электромагнитное реле работает следующим образом. На сердечнике 2 магнитной системы находится катушка 1, на которую подается входной электрический сигнал.



Когда ток (напряжение) превысит некоторое значение, называемое током (напряжением) срабатывания реле, создаваемая им электромагнитная сила станет больше противодействующей силы возвратной пружины 10. Якорь 3 притянется к сердечнику 2 и траверса 6, поднявшись, обеспечит замыкание контактов 8 и размыкание контактов 7. Сила нажатия в контактах создается пружиной 9.

Если уменьшить (отключить) ток (напряжение) в катушке, то якорь 3 под действием пружины 10 перейдет в исходное положение и контакты реле вернуться в нормальное (исходное) положение.

Ток (напряжение), при котором якорь возвращается в исходное положение, носит название тока (напряжения) возврата или отпускания.

Отношения тока (напряжения) возврата к току (напряжению) срабатывания называется коэффициентом возврата реле.

Поскольку контакты реле коммутируют небольшие от миллиампер до 10 А , в них обычно не используются дугогасительные камеры, а конструкции контактов простые.

Основные типы реле, применяемых в схемах управления электроприводами: времени электромеханические – 2РВМ, CRONO, ВС-33, ВС-43, РВ-100, РВ-200; времени электромагнитные – РЭВ-811...РЭВ-818, РЭВ-881...РЭВ884; контроля трехфазного напряжения – ЕЛ-11...ЕЛ-13; промежуточные - РПЛУ, РЭУ-11, РЭУ-21, НН63Р, НН64Р, ПЭ-37, РП-8, РП-9, РП-11, РП-12, РП-16...РП-18, РП-23, РП-25, РП-251...РП-256, РП-21004, R153, R3, R4, R15, РЭП-15, РЭП-25, РЭП-34, РПУ-2М, РПУ-3М, РПЛ, РЭВ-822, РЭВ-826; тока – РТ-01, РТ-40, РТ-140, РТД-11, РТД-12, РСТ-11, РСТ-13, РЭ-830; напряжения – РН-01, РН-51, РН-151, РН-53, РН-153, РН-54, РН-154.

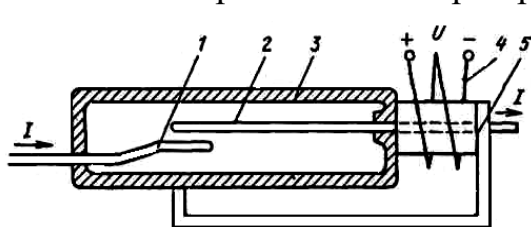
### Герконовые электромагнитные реле.

Они имеют ту особенность, что их контакты герметизированы, это повышает их износостойкость и надежность в работе.

Геркон представляет собой ферромагнитные (сплав железа с никелем) контакт-детали (подвижный и неподвижный контакты) герметично запаянные в стеклянный баллон, заполненный нейтральным газом. Геркон приводится в действие внешним магнитным полем катушки или постоянного магнита.

Если на катушку 4 подать напряжение постоянного тока, то в ней начнет протекать ток, создающий в магнитопроводе 5 и контактах 1 и 2 магнитный поток. Под его воздействием подвижный контакт 2 переместится и замкнется с неподвижным контактом 1.

Контакты заключены в стеклянный корпус 4. Износостойчивость реле с герконами, способных коммутировать токи до 5А при напряжении до 100В, достигает несколько десятков миллионов срабатываний при времени срабатывания 0.3...2.0 мс.



Выпускаются герконовые реле следующих типов: РГК 49, РГК 50, РГК 51, РГК 52, РГК 53, РГК 54 на ряд рабочих напряжений 3,5,12,15,24В при коммутируемом токе до 3А.

### Критерии выбора:

$$U_k \geq U_n$$

$$I_k \geq I_n$$

$$U_{кат} \geq U_{п.к}$$

## 6.4. Аппараты защиты. Назначение, устройство, выбор.

Электрическая защита и распределение энергии между приемниками электрической энергии осуществляются с помощью **электрических аппаратов**.

Защита осуществляется автоматическим отключением поврежденного участка системы или подачей сигнала о нарушении нормального режима. Каждый элемент системы кроме основной защиты реагирующей на нарушения режима элемента системы может снабжаться резервной защитой, которая должна реагировать при отказах основной.

К защите предъявляются следующие требования:

- быстродействие;
- селективность;
- надежность;
- чувствительность.

Быстродействие определяется временем срабатывания  $t_c$ . Различают защиты: **мгновенного действия**  $t_c < 0,05c$ , **быстродействующие**  $0,05 < t_c < 0,5c$  и **замедленного действия**  $t_c > 0,5 c$ . Селективность обеспечивается соответствующим выбором типа защиты, ее параметрами и временем срабатывания.

Для общепромышленного электрооборудования предусматриваются: максимально токовая защита (для быстрого отключения при коротком замыкании), защита от перегрузок для отключения цепи при длительном превышении номинального; защита минимального напряжения для отключения двигателей при опасном для них снижении напряжения; нулевая защита, предохраняющая от самозапуска двигателя, остановившегося после случайного перерыва в электроснабжении.

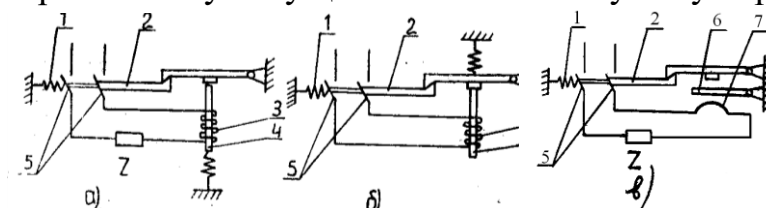
**Автоматические воздушные выключатели.** Автоматические выключатели предназначены для нечастых замыканий и размыкании электрической цепи, находящейся под нагрузкой и длительного прохождения по ней тока, а также отключения цепи при ненормальных и аварийных режимах: коротких замыканий, длительных небольших перегрузок, чрезмерном снижении напряжения питания или его исчезновения.

Контактная система и механизмы автоматического выключателя смонтированы на пластмассовой панели. Он оборудуется подвижными и неподвижными контактами, дугогасительным устройством.

Для воздействия на защелку отключающего механизма применяются один или несколько расцепителей, отключающих их главные контакты.

Расцепители представляют собой электромагнитные или термобиметаллические механизмы, срабатываемые и вызывающие отключение автоматического выключателя мгновенно или с некоторой выдержкой времени.

Номинальные токи автоматических выключателей и уставок расцепителей следует выбирать по расчетному току цепи и возможному току перегрузки.



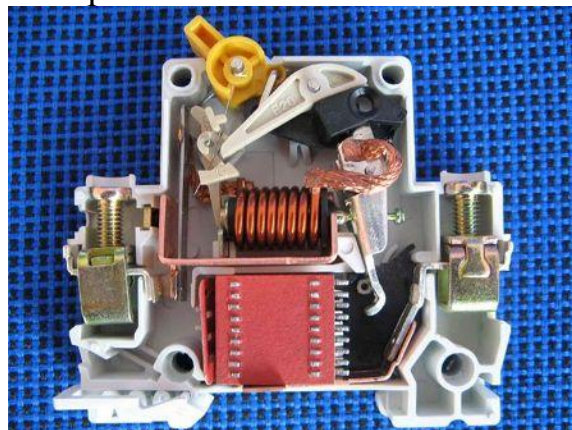
Схемы действия электромагнитных расцепителей: а – максимального тока; б – минимального напряжения; в – теплового расцепителя:

- 1 – пружина; 2 – защелка; 3 – катушка; 4 – стальной сердечник; 5 – контакты;  
6 – биметаллическая пластина; 7 – нагревательный элемент

Рассмотрим принцип действия некоторых расцепителей (рис.12.6. а, б, в).

В автоматическом выключателе с электромагнитным расцепителем максимального тока по достижении током установленного предельного значения или короткого замыкания катушка 3 втягивает стальной сердечник 4 и освобождает защелку 2, которая под действием пружины 1 разрывает силовые контакты 5. В автоматическом выключателе с электромагнитным расцепителем минимального (нулевого) напряжения или тока катушка 3 удерживает сердечник 4 и связанную с ним защелку до тех пор, пока напряжение сети, а следовательно, и ток в катушке не снизятся до установившегося предельного значения или исчезнет совсем, после чего сердечник 4 отпускается и защелка 2 освобождает пружину 1, цепь силовых контактов 5 при этом разрывается. Электромагнитные расцепители срабатывают практически мгновенно – собственное время срабатывания составляет 0,02...0,03с. В автоматическом выключателе с тепловым расцепителем, ток, проходя по нагревательному элементу 7, нагревает биметаллическую пластину 6, которая снимает защелку 2 пружины 1 и тем самым производит отключение силовых контактов 5. Из холодного состояния при температуре окружающей среды 40°C и нагрузке 1.1 номинальной тепловой расцепитель не срабатывает в течение часа, при нагрузке 1.35 номинальной срабатывает за 30 минут, а при шестикратной нагрузке - не более чем за 2...10с.

Автоматический выключатель при наличии трех расцепителей одновременно (электромагнитного максимального значения, электромагнитного минимального значения и теплового) заменяет рубильник, электромагнитный пускатель, плавкую вставку предохранителя и тепловое реле.



Устройство автоматического выключателя

По конструктивному оформлению различают автоматические выключатели с пластмассовым корпусом и крышкой на токи до 630А – установочные и без корпуса и крышки на токи от 630 до 15000А – универсальные. По времени отключения различают автоматические выключатели небыстродействующие и быстродействующие.

Рассматривая только установочные автоматы, следует отметить следующие наиболее применяемые серий: АП-50 2(3) МТН; АЕ2000; ВА51-35; А3700...А3716 до 180А; А3726 до 250А; ВА5700...ВА5731 до 16...100А; ВА5735 до 100А; ВА57Ф35 до 100А; ВМ-40П (16,25А); ВМ-403П (16,25,40А); "ЩИТ", ДЭК-1П (10...63А); ДЭК-2П (10-63А); АВ-50-45; ВА 50-41...ВА 56-41; АВ 2М; "Электрон" 306С, 316В, 325С, 325В, 340В, 340С, ВАМУ, фирмы Legrand ДРХ и другие.

Автоматические выключатели, предназначенные для установки в квартирах и удовлетворяющие всем требованиям, предъявляемым к установочным изделиям назы-

вают бытовыми: серии АЕ-1000, ВА-101, ВА1-103, ВА-201, ВА-301...ВА304; ВА 92-29; ВА47; ВА88; «Щит»; фирмы Legrand ДРХ™, LR™ и другие.



Производятся автоматические выключатели с широким спектром номинальных токов. Что позволяет подобрать нужный практически под любую задачу. Работают выключатели на напряжении до 1 кВ и на напряжении свыше 1кВ (высоковольтные выключатели).

Высоковольтные выключатели, для обеспечения чёткого расцепления контактов и предотвращения появления дуги производятся вакуумными, наполненными инертным газом или маслом.

В отличие от плавких предохранителей автоматические выключатели производятся как для однофазных так и для трехфазных сетей. То есть существуют одно-, двух-, трех-, четырехполюсные выключатели контролирующие три фазы трехфазной сети.



Например, при появлении короткого замыкания на землю одной из жил питающего кабеля электродвигателя автоматический выключатель отключит питание на всех трех, а не на одной поврежденной. Так как после исчезновения одной фазы электродвигатель продолжил бы работу на двух. Что не допустимо, так как является аварийным режимом работы и может привести к преждевременному выходу его из строя. Автоматические выключатели производятся для работы с постоянным и переменным напряжением.

Коммутационную способность проверяют по допустимому току короткого замыкания. Между номинальным током теплового расцепителя  $I_{уст.тепл}$  и рабочим током цепи должно быть условие  $I_{уст.тепл} = 1,25 I_{раб}$ .

Ток электромагнитного расцепителя  $I_{уст.эм}$  для питания одиночных электродвигателей должен быть  $I_{уст.эм} = 1,25 I_{пуск}$  ( $I_{пуск}$  - пусковой ток электродвигателя).

Для группы электродвигателей учитывается пусковой ток большего по мощности электродвигателя  $I_{пуск.макс}$  и суммарный рабочий ток остальных, то есть  $n$  – число двигателей

### Тепловые реле.

Тепловые реле служат для защиты электродвигателей от небольших, но длительных перегрузок, возникающих из-за прохождения по обмоткам повышенных токов, перегрузок рабочего механизма по технологическим причинам, тяжелых условиях пуска, длительного понижения напряжения сети, обрыва одной из фаз.

Основное требование к тепловой защите – должна срабатывать при перегрузках электродвигателя свыше 20% в течении не более 20 минут с момента достижения установившейся температуры.

Принцип действия теплового реле аналогичен принципу действия теплового расцепителя автоматического выключателя. Термобиметаллическая пластина, способная изгибаться при нагреве, состоит из двух прочно соединенных между собой разнородных металлов, обладающих различными коэффициентами температурного расширения.

Широкое распространение получили тепловые реле типа ТРН, ТРП, РТТ и РТЛ. Тепловые реле типа ТРН - двухполюсные с температурной компенсацией, ручным возвратом и сменными нагревателями, рассчитанными на токи от 0,32 до 40 А. Тепловые реле ТРП - однополюсные, ручного возврата или самовозвратом, без температурной компенсации и со сменными нагревателями на токи от 25 до 150 А.



**Критерии выбора**  $I_{к.тр} \geq (1,05 \dots 1,2) I_n$

**Токовые реле**, контролирующие величину тока в сети, **реле напряжения**, реагирующие на изменения напряжения питания, **реле дифференциального тока**, срабатывающие при возникновении тока утечки.

Как правило такие токи утечки весьма малы, и автоматические выключатели совместно с предохранителями на них не реагируют, но могут вызвать смертельное поражение человека при контакте его с корпусом неисправного прибора. При большом количестве электроприёмников требующих подключения через дифференциальное реле, для уменьшения габаритов силового щита, питающего эти электроприёмники, используют комбинированные автоматы.

Сочетающие в себе устройства автоматического выключателя и дифференциального реле (автоматы дифференциальной защиты или дифавтоматы). Часто использование таких комбинированных защитных устройств бывает весьма актуально. При этом снижаются габариты силового шкафа, облегчается монтаж и следовательно уменьшаются затраты на установку.

**Плавкие предохранители** — это аппараты, защищающие установки от перегрузок и токов короткого замыкания.

Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая в рассечку защищаемой цепи, и дугогасительное устройство, гасящее дугу, возникающую после плавления вставки.

## Основные требования предъявляемые к плавким предохранителям

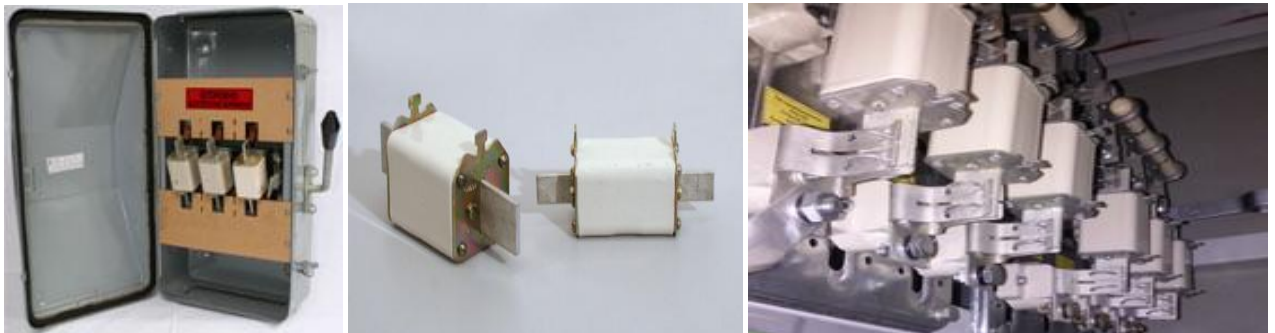
К предохранителям предъявляются следующие требования:

1. Времятоковая характеристика предохранителя должна проходить ниже, но возможно ближе к времятоковой характеристике защищаемого объекта.
2. При коротком замыкании предохранители должны работать селективно.
3. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимально возможным, особенно при защите полупроводниковых приборов. Предохранители должны работать с токоограничением.
4. Характеристики предохранителя должны быть стабильными. Разброс параметров из-за производственных отклонений не должен нарушать защитные свойства предохранителя.
5. В связи с возросшей мощностью установок предохранители должны иметь высокую отключающую способность.
6. Замена сгоревшего предохранителя или плавкой вставки не должна требовать много времени.

В промышленности наибольшее распространение получили предохранители типов ПР-2 и ПН-2. Плавкие высоковольтные предохранители ПКТ, ПКН, ПВТ



Плавкие предохранители с гашением дуги в закрытом объеме ПР-2, пред-ль кварцевый ПКТ-101



Плавкие предохранители с мелкозернистым наполнителем ПН-2



Плавкие вставки предохранителей

## Устройство предохранителей ПН-2

Эти предохранители более совершенны, чем предохранители ПР-2. Корпус квадратного сечения 1 предохранителя типа ПН-2 изготавливается из прочного фарфора или стеатита. Внутри корпуса расположены ленточные плавкие вставки 2 и наполнитель — кварцевый песок 3. Плавкие вставки привариваются к диску 4,

который крепится к пластинам 5, связанным с ножевыми контактами 9. Пластины 5 крепятся к корпусу винтами.

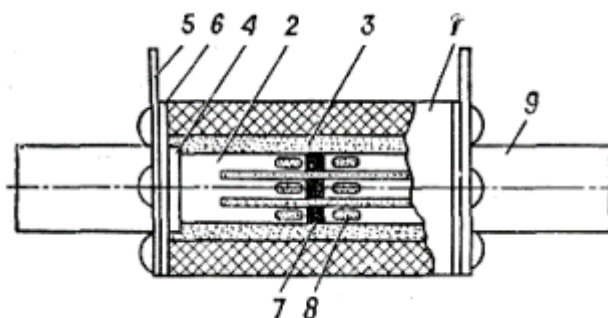
В качестве наполнителя в предохранителях ПН-2 используется кварцевый песок с содержанием  $\text{SiO}_2$  не менее 98 %, с зернами размером  $(0,2—0,4)10^{-3}$  м и влажностью не выше 3 %. Перед засыпкой песок тщательно просушивается при температуре 120—180 °С. Зерна кварцевого песка имеют высокую теплопроводность и хорошо развитую охлаждающую поверхность.

Плавкая вставка предохранителей ПН-2 выполняется из медной ленты толщиной 0,1—0,2 мм. Для получения токоограничения вставка имеет суженные сечения 8. Плавкая вставка разделена на три параллельных ветви для более полного использования наполнителя. Применение тонкой ленты, эффективный теплоотвод от суженных участков позволяют выбрать небольшое минимальное сечение вставки для данного номинального тока, что обеспечивает высокую токоограничивающую способность. Соединение нескольких суженных участков по-следовательно способствует замедлению роста тока после плавления вставки, так как возрастает напряжение на дуге предохранителя. Для снижения температуры плавления на вставки наносятся оловянные полоски 7 (металлургический эффект).

### Принцип действия предохранителя ПН-2

При коротком замыкании плавкая вставка предохранителя ПН-2 сгорает и дуга горит в канале, образованном зернами наполнителя. Из-за горения в узкой щели при токах выше 100 А дуга имеет возрастающую вольт-амперную характеристику. Градиент напряжения на дуге очень высок и достигает  $(2—6)10^4$  В/м. Этим обеспечивается гашение дуги за несколько миллисекунд.

После срабатывания предохранителя плавкие вставки вместе с диском 4 заменяются, после чего патрон засыпается песком. Для герметизации патрона под пластины 5 кладется асбестовая прокладка 6 что предохраняет песок от увлажнения. При номинальном токе 40 А и ниже предохранитель имеет более простую конструкцию.



### Технические характеристики предохранителей ПН-2

Предохранители ПН-2 выполняются на номинальный ток до 630 А. Предельный отключаемый ток короткого замыкания, который может отключаться предохранителем, достигает 50 кА (действующее значение тока металлического короткого замыкания сети, в которой устанавливается предохранитель).

Малые габариты, незначительная затрата дефицитных материалов, высокая токоограничивающая способность являются достоинствами плавкого предохранителя ПН-2.

**Токи плавких вставок для проводов осветительной сети выбирают по номинальному току**

### **$I_{пл.вст} \geq I_{ном}$ .**

При выборе плавких вставок для защиты асинхронных электродвигателей необходимо учитывать, что пусковой ток двигателя в 5-7 раз больше номинального. Поэтому выбирать плавкую вставку по номинальному току нельзя, так как она при пуске электродвигателя перегорит.

Для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при небольшой частоте включения и легких условиях пуска ( $t_{пуск} = 5-10$  с) номинальный ток плавкой вставки можно определить по выражению

$$I_{пл.вст} \geq 0,4 I_{пуск}$$

где  $I_{пуск}$  - пусковой ток электродвигателя, А.

При тяжелых условиях работы (частые пуски, продолжительность разбега до 40 с)

$$I_{пл.вст} \geq (0,5-0,6) I_{пуск}$$

Для электродвигателей с фазным ротором

$$I_{пл.вст} \geq (1-1,25) I_{пуск}$$

При выборе тока плавкой вставки предохранителя, устанавливаемого для защиты линии, питающей группу электродвигателей с короткозамкнутым ротором, пользуются формулой:

$$I_{пл.вст} \geq 0,4 [\sum I_{ном.дв} + (I_{пуск} - I_{ном})]$$

где  $I_{ном.дв}$  - сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей, А;

$(I_{пуск} - I_{ном})$  - разность между пусковым и номинальным токами электродвигателя, у которого она имеет наибольшую величину, А.

В целях селективности защиты плавкая вставка предохранителя, установленная в начале линии, питающей электродвигатель, должна быть выбрана на больший ток, чем плавкая вставка, установленная непосредственно у электродвигателя.

В качестве защитных аппаратов в настоящее время широкое распространение получили **бесконтактные электрические аппараты**.

Бесконтактные электрические аппараты воздействуют на электрическую цепь без физического разрыва. Основными их преимуществами являются: быстрое действие, высокая скорость переключения; долговечность, срок службы определяется в основном старением компонентов, из которых они состоят; отсутствие контактов подвижных частей.

Принцип действия бесконтактных электрических аппаратов управления основан на использовании элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой: ферромагнитные сердечники с обмотками (нелинейные индуктивности); активные нелинейные сопротивления, которыми обладают полупроводниковые приборы при сравнительно невысоких частотах электрического тока. Нелинейные элементы включаются между источником питания и нагрузкой (управляемой цепью). Управление осуществляется изменением сопротивления нелинейных элементов электрическому току от минимального до максимального значения. Управляемая мощность в цепи нагрузки достигает при этом больших значений.

Указанное свойство, т.е. возможность с помощью сравнительно небольшой мощности в цепи управления управлять большой мощностью в управляемой цепи (нагрузке), характеризует бесконтактные аппараты как усилители.



Существуют различные виды устройств защитного отключения (УЗО) по техническому исполнению. Ниже приведена примерная классификация УЗО.

### 1. Классификация УЗО по назначению:

- УЗО без встроенной защиты от сверхтоков (выключатели дифференциального тока, см. рис. 1, а, б),
- УЗО со встроенной защитой от сверхтоков (дифференциальные автоматические выключатели, рис. 2, а),
- имеют тепловой и электромагнитный расцепители и защищают от токов перегрузки и короткого замыкания.

### 2. По способу управления: УЗО, функционально не зависящие от напряжения, УЗО, функционально зависящие от напряжения.

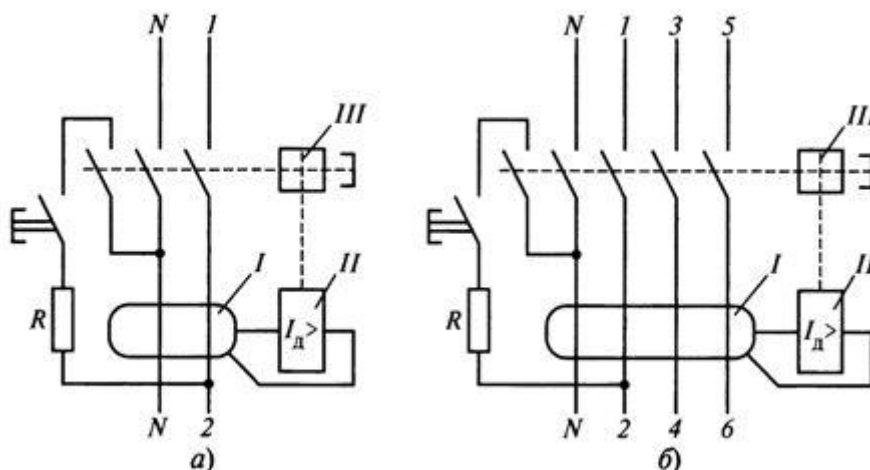
Устройства защитного отключения, функционально зависящие от напряжения, в свою очередь, подразделяются: на устройства, автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения с выдержкой времени или без нее. При восстановлении напряжения одни модели этих устройств автоматически повторно замыкают контакты своей главной цепи, другие остаются в отключенном состоянии, на устройства, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения.

Имеются также два варианта исполнения устройств этой группы. В одном варианте при исчезновении напряжения устройство не размыкает свои контакты, но сохраняет способность разомкнуть силовую цепь при возникновении дифференциального тока. Во втором варианте, при отсутствии напряжения, устройства неспособны произвести отключение при возникновении дифференциального тока.

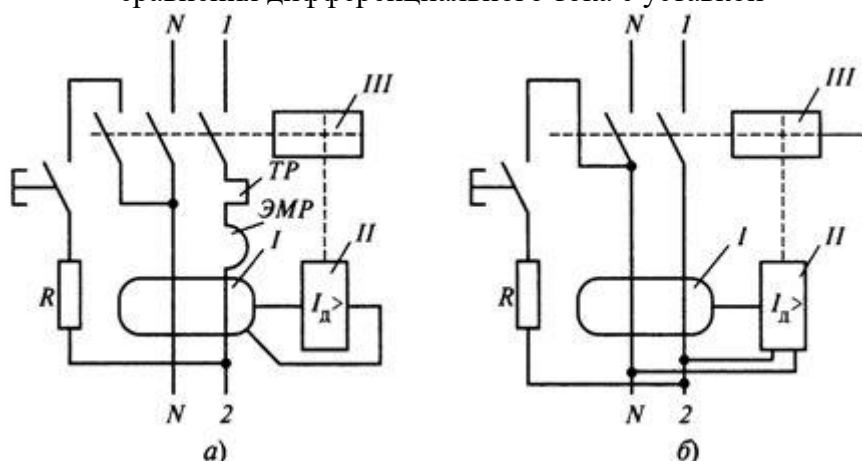
УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания (электромеханические). Источником энергии, необходимой для функционирования — выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является для устройства сам сигнал — дифференциальный ток, на который оно реагирует, УЗО, функционально зависящие от напряжения питания (электронные). Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Причиной меньшего распространения электронных УЗО является их неработоспособность при обрыве питающего их нулевого проводника. В этом случае корпус электроприемника, подключенного к сети через УЗО, не размыкающего свои контакты при исчезновении напряжения, окажется под напряжением. Кроме того,

несмотря на меньшую стоимость, их применение ограничено из-за меньшей надежности электронных компонентов.



Электрические схемы устройств защитного отключения: а — двухполюсное УЗО, б — четырехполюсное УЗО, I — дифференциальный трансформатор тока, II — блок сравнения, III — блок отключения, 1— 6 — фазные проводники, N— нулевой проводник,  $I_{д>}$  — обозначение блока сравнения дифференциального тока с уставкой



Электрические схемы УЗО: а — с защитой от сверхтоков (ТР — тепловой расцепитель, ЭМП — электромагнитный расцепитель), б — с электронным блоком сравнения (II), получающим питание от сети, I — дифференциальный трансформатор тока, II — блок сравнения, III — блок отключения

### 3. По способу установки:

- УЗО, применяемые для стационарной установки,
- УЗО переносного типа, в том числе присоединяемые с помощью шнура.

Это, например, УЗО-вилка типа А, включаемая в розетку с заземляющим контактом, имеющая кнопку «Тест» с номинальными токами: рабочим — 16 А, дифференциальным — 30 мА.

### 4. По числу полюсов и токовых путей наиболее распространены:

- двухполюсные УЗО с двумя защищенными полюсами,
- четырехполюсные УЗО с четырьмя защищенными полюсами.

Ряд производителей выпускают также трехполюсные УЗО с защитой от сверхтоков.

### 5. По условиям регулирования отключающего дифференциального тока:

- УЗО с одним значением номинального отключающего дифференциального

тока,

- УЗО с несколькими фиксированными значениями отключающего дифференциального тока.

#### **6. По условиям функционирования при наличии составляющей постоянного тока:**

- УЗО типа АС, реагирующие на синусоидальный переменный дифференциальный ток, медленно нарастающий либо возникающий скачком,

- УЗО типа А, реагирующие как на синусоидальный переменный дифференциальный ток, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток, медленно нарастающие либо возникающие скачком,

- УЗО типа В, реагирующие как на синусоидальный переменный дифференциальный ток, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток, медленно нарастающие либо возникающие скачком, а также реагирующие на постоянный ток.

#### **7. По наличию задержки по времени:**

- УЗО без выдержки времени — тип общего применения,

- УЗО с выдержкой времени — тип S (селективный).

В разветвленных системах электроснабжения применяют УЗО с различными значениями номинальных дифференциальных токов и времени отключения. В начале сети устанавливают селективное УЗО (тип S) с дифференциальным током 300 или 500 мА. Выпускаются также селективные УЗО на токи 1000 и 1500 мА.

Для исключения ложных срабатываний при кратковременных повышениях тока утечки, а также для обеспечения более раннего срабатывания УЗО на последующих уровнях электроснабжения селективные УЗО имеют время отключения 130 — 500 мс.

Устройства защитного отключения с дифференциальным током 30 мА выполняют функцию защиты от поражения электрическим током, а селективные УЗО с током 300 мА обеспечивают противопожарную защиту.

В случае повреждения изоляции и протекания дифференциального тока 300 мА и более вначале сработает УЗО нижнего уровня защиты с током 30 мА. Селективное УЗО, имеющее большее время отключения, в этом случае не сработает и электропитание неповрежденных электроприемников сохранится.

#### **8. По способу защиты от внешних воздействий:**

- УЗО защищенного исполнения, не требующие для своей эксплуатации защитной оболочки,

- УЗО незащищенного исполнения, для эксплуатации которых необходима защитная оболочка.

#### **9. По способу монтажа:**

- УЗО поверхностного монтажа,

- УЗО утопленного монтажа,

- УЗО панельно-щитового монтажа.

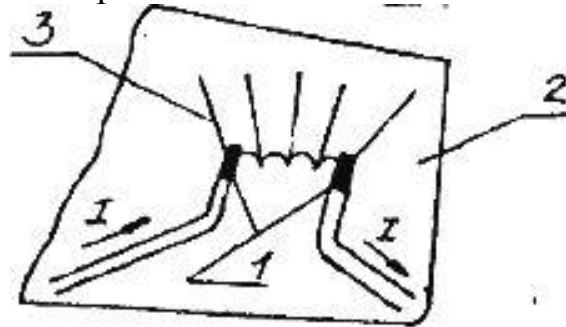
#### **10. По характеристике мгновенного расцепления (для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков):**

- УЗО типа В,

- УЗО типа С,

- УЗО типа D

**Дугогасительные устройства** необходимы в электрических аппаратах, коммутирующих большие токи, так как возникающая при разрыве тока электрическая дуга вызывает подгорание контактов. В автоматических выключателях применяются дугогасительные камеры с деионным гашением дуги. При деионном гашении дуги (рис. 2.) над контактами 1, помещенными внутри дугогасительной камеры 2, располагается решетка из стальных пластин 3. При размыкании контактов образовавшаяся между ними дуга потоком воздуха выдувается вверх, попадает в зону металлической решетки и быстро гасится.



Устройство дугогасительной камеры автоматического выключателя: 1- контакты, 2- корпус дугогасительной камеры, 3 - пластины.

## Лекция 7.

### ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

- 7.1 Принципы и способы электрического нагрева.
- 7.2 Электронагревательные установки, их выбор и классификация.
- 7.3 Автоматизация электронагревательных установок.
- 7.4 Принцип действия холодильных установок и их автоматизация.

#### 7.1 Принципы и способы электрического нагрева.

Тепловая энергия выступает как мощный фактор воздействия человека на природу. В одних случаях теплота используется для создания наиболее благоприятных температурных условий животным и растениям, в других — для подавления вредных микроорганизмов, вызывающих порчу продукции, снижение плодородия. Обе эти задачи решаются с использованием как высоких температур (нагрев), так и низких (охлаждение). Важное значение имеет нагрев также при ремонте и восстановлении сельскохозяйственной техники.

Рациональное теплоснабжение сельского хозяйства является важной экономической и социальной задачей. Это связано с особенностями сельского хозяйства, для которого централизованные системы теплоснабжения, распространенные в городах (от ТЭЦ и крупных котельных), оказываются во многих случаях экономически нецелесообразными. Основная причина этого — большая рассредоточенность потребителей и низкая плотность тепловых нагрузок. Поэтому в сельском хозяйстве в основном распространены децентрализованные системы теплоснабжения с использованием огневых установок. Однако они имеют следующие недостатки: большие транспортные расходы на доставку топлива (особенно низкокалорийного), низкую энергетическую эффективность (к.п.д. не превышает 0,6... 0,7) и значительные затраты ручного труда на обслуживание маломощных топливных установок.

Создание низких температур (4...8°C) в теплое время года, необходимых для охлаждения и хранения продукции, вообще затруднено без использования электрифицированных холодильных установок.

В связи с этим электронагревательные и холодильные установки в сельском хозяйстве находят все возрастающее применение.

Электротепловые установки имеют следующие важнейшие преимущества:

- высокое качество и избирательность нагрева и охлаждения; возможность полной автоматизации и точность поддержания теплового режима;
- малые эксплуатационные затраты на обслуживание установок и постоянная готовность к действию;
- малые капитальные затраты и меньшая потребность в производственных площадях, возможность установки в любом месте;
- пониженная пожароопасность, отсутствие загрязнения окружающей среды и т. д.

Однако тепловые процессы весьма энергоемки. Перевод тепловых процессов на электроэнергию требует строгих технико-экономических обоснований. Из-за многократных преобразований энергии коэффициент полезного использования энергоресурсов в электротепловых установках в целом ниже, чем в топливных, и составляет 0,25...0,35. Одновременно большая энергоемкость тепловых процессов и высокая стоимость электроэнергии вызывают увеличение общих затрат.

Применение электронагрева экономически оправдывается, если повышенный расход энергоресурсов и затраты на электроснабжение компенсируются экономией на других статьях расходов при существенном улучшении технологии процессов, снижении затрат труда и стоимости установок.

Электронагревом называют прикладную область науки, изучающую рациональные способы превращения электрической энергии в тепловую, методы ее передачи к объекту нагрева и технические средства электронагрева.

Преобразование электрической энергии в тепловую осуществляется путем возбуждения внешним электрическим полем в нагреваемых объектах различных форм движения свободных или связанных электрических зарядов.

Основной способ нагрева, используемый в быту и коммунальном секторе, – электронагрев сопротивлением. Он основан на выделении теплоты в твердых и жидких материалах при прохождении по ним электрического тока. Количество выделенной в проводнике теплоты (в джоулях) определяется законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 R t$$

где  $I$  – сила тока, А;

$R$  – сопротивление проводника, Ом;

$t$  – время нагрева, С.

Если проводником является сам нагреваемый материал, то такой нагрев называют прямым. **Прямой** электрический нагрев сопротивлением подразделяют на **электроконтактный** (применяется для нагрева изделий электроконтактной сваркой) и **электродный** (применяется для нагрева проводников второго рода, например воды)

**Косвенный** нагрев основан на использовании электрических нагревателей сопротивления, теплота от которых передается нагревательной среде путем теплопроводности, конвекции, излучения или комбинацией этих способов.

## 7.2 Электронагревательные установки, их выбор и классификация

Электрический нагрев применим в любых технологических процессах. Практически не ограничены возможности по интенсивности достигаемых температур и точности их поддержания. Однако в зависимости от назначения нагрева, физических свойств нагреваемых материалов, технологических условий это достигается различными способами.

Электронагревательной установкой ЭНУ называют агрегат или комплекс оборудования, включающий электрические нагреватели, рабочую камеру, источники электрического питания и аппаратуру управления процессом нагрева.

Классификация ЭНУ выполняется по следующим признакам:

- способу электрического нагрева - перечислим ниже;
- принципу нагрева - прямой и косвенный;
- принципу работы - периодического и непрерывного действия (более прогрессивного);

- роду тока и частоты - постоянного тока; переменного тока (низкой промышленной частоты 50Гц, средней повышенной частоты до 10 кГц, высокой частоты до 100 МГц, сверхвысокой частоты свыше 100 МГц)

- способы теплопередач; контактного нагрева (теплопроводностью), конвективного лучистого ИК, смешанного.

В основу классификации способов электронагрева, способов преобразования электрической энергии в тепловую положены следующие признаки:

- вид «греющего» электрического тока или электромагнитной волны;
- способ создания (возбуждения) электрического тока или электромагнитной волны;
- частота тока или поля.

Исходя из этих признаков, различают следующие способы электронагрева:

**Электронагрев сопротивлением** - электрическая энергия в твердых или жидких проводниках, включенных в электрическую цепь, преобразуется в тепловую. Различают прямой нагрев и косвенный.

Электронагревательные установки сопротивления: а) прямого электронагрева - электродные водонагреватели, паровые котлы, пастеризаторы, кормозапарники, стерилизаторы почвы, аппараты электроконтактной сварки, электроплазмолизационные аппараты, установки прямого нагрева металла, электродные соляные ванны; б) косвенного нагрева - элементные водонагреватели, калориферы, электрообогреваемые полы, РЖ обогреватели, электрические печи, тигли, ванны, бытовые электроприборы.

**Дуговой электронагрев** - электрическая энергия преобразуется в тепло в дуге, горящей в газовой среде. Различают прямой нагрев и косвенный.

Установки электродугового нагрева: а) прямого нагрева - электросварочные аппараты и преобразователи, электрометализаторы, б) косвенного нагрева — источники ИК нагрева, дуговые плазмотроны.

Электрическая дуга представляет собой устойчивый самостоятельный электрический разряд в газах. Она характеризуется большой плотностью, достигающей 100 А/мм<sup>2</sup>, и высокой температурой (от 5000 до 12 000°С).

Возбуждение дуги происходит при первоначальном касании электродов. В момент короткого замыкания в месте соприкосновения электродов выделяется большое количество тепловой энергии, которое приводит к расплавлению и испарению материалов электродов. При отводе электродов происходит дальнейшее испарение материалов, термическая ионизация паров и молекул газа. Положительные ионы устремляются к катоду, а электроны и отрицательные ионы — к аноду. В результате возникает электрическая дуга.

Потоки заряженных частиц, разгоняясь в электрическом поле, запасают кинетическую энергию и при соударении с электродами разогревают их.

Основное количество тепловой энергии (более 70%) выделяется в приэлектродных областях дуги, мощность которой определяется током нагрузки и эффективными значениями катодного и анодного падений напряжений. Анодное падение напряжения дуги на 20... 60% ниже, чем катодное.

**Индукционный электронагрев** - электрическая энергия преобразуется в тепло в твердых или жидких проводниках, помещенных в быстропеременное магнитное поле ( за счет вихревых токов в проводнике при пересечении его магнитными силовыми линиями).

Установки индукционного нагрева: индукционные водонагреватели и пастеризаторы, обогреватели почвы, насестов, закалочные и плавильные установки ремонтных предприятий.

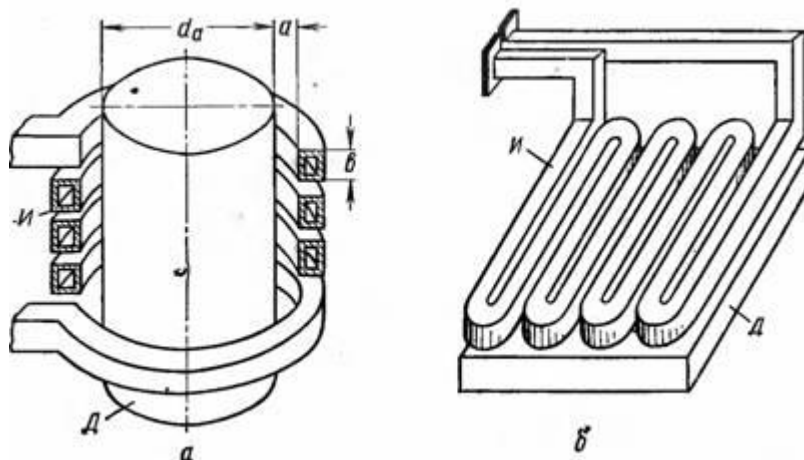
Индукционный и диэлектрический электронагрев основан на выделении тепловой энергии непосредственно в нагреваемом теле, помещенном в переменное электромагнитное поле.

Методом индукционного нагрева можно нагревать металлические тела. При этом полезно используется магнитная составляющая переменного электромагнитного поля. Методом диэлектрического нагрева греют полупроводниковые тела и диэлектрики, используя электрическую составляющую высокочастотного поля.

Индукционный нагрев можно получить в магнитных полях высокой напряженности и частоты, которые создаются специальными устройствами — индукторами (индукционными нагревателями), питаемыми от индивидуальных генераторов токов высокой частоты или непосредственно от сети. Индуктор представляет собой первичную обмотку воздушного трансформатора (без сердечника), вторичной обмоткой которого служит нагреваемое тело.

В ферромагнитных материалах, имеющих высокую магнитную проницаемость, поверхностный эффект распределения тока в проводнике проявляется наиболее сильно. Например, при температуре 600°С глубина проникновения тока в углеродистую сталь на частоте 50 Гц составляет 24,9 см, а на частоте 10 кГц—1,95 см. Явление поверхностного эффекта полезно используется в технике индукционного нагрева.

Главными преимуществами индукционного нагрева являются: компактность и высокая готовность установки к работе, высокое качество нагрева и санитарные условия труда, высокие температуры и удельные мощности нагрева.



Индукторы для нагрева цилиндрических (а) и плоских (б) деталей;  
И — индуктор; Д — деталь.

Индукционный нагрев применяют для сквозного нагрева металлических заготовок под горячую обработку (штамповку, высадку), для поверхностной закалки, цементации, науглероживания, сварки и пайки деталей, плавки металлов, пастеризации молока, нагрева воды, воздуха и т. д.

Сравнительно простые по устройству индукционные нагреватели промышленной частоты, питаемые сетевым напряжением, выполняют в виде многослойных обмоток с проводами в термостойкой изоляции. Однако такое устройство индуктора понижает допустимую температуру нагрева и надежность, ухудшает к.п.д.,  $\cos\phi$  и увеличивает расход цветных металлов. В сельском хозяйстве эти нагреватели можно использовать для низкотемпературного поверхностного электронагрева пищевых продуктов, воды, воздуха, пола в животноводческих помещениях и т. д.

**Диэлектрический электронагрев** - электрическая энергия преобразуется в тепло в твердых и жидких непроводящих материалах (диэлектриках), помещаемых в быстропеременное электрическое поле (за счет токов электрического смещения, наводимых в материале).

Диэлектрический нагрев основан на явлении поляризации диэлектриков и полупроводников, помещенных в электрическом поле рабочего конденсатора (диэлектрического нагревателя).

При воздействии на материал переменного электрического поля происходит непрерывное смещение зарядов и связанных с ними молекул (поляризация). На перемещение заряженных частиц затрачивается энергия и в материале возникают токи смещения и проводимости, в результате которых происходит выделение теплоты.

Особенностью и преимуществом диэлектрического нагрева является одновременный прогрев материала по всему объему. Поэтому он наиболее полезен для быстрого нагрева материалов с плохой теплопроводностью, которых в сельскохозяйственном производстве большинство. Диэлектрический нагрев применим для сушки семян, чая, кормов, пастеризации и стерилизации молока, соков, консервов и подогрева пресс-порошка перед прессованием пластмассовых изделий, дезинсекции зерна и т. д.

**Электронный электронагрев** — электрическая энергия преобразуется в тепловую при встрече потока электронов, ускоренных в электрическое поле, с нагреваемым телом. Условия нагрева - глубокий вакуум в рабочей камере нагрева, особенность нагрева - высокая концентрация энергии до  $5 \cdot 10^8$  кВт/см.

**Световой (лазерный) электронагрев** - происходит под действием усиленного индуцированного излучения оптических квантовых генераторов (лазеров). Излучение представляет собой пучок когерентных лучей оптического диапазона, отличающихся чрезвычайно малым расхождением. Энергия лучей преобразуется в тепло при встрече с поверхностью нагреваемого тела. При световом нагреве достигается наибольшая из всех известных способов нагрева концентрация мощности. Лазеры обычно работают в импульсном режиме. Энергия светового импульса невелика до 30 Дж, но очень малый диаметр луча 1-8 мкм, малая длительность импульса (миллионные доли секунды). Тело при этом успевает нагреться до нескольких тысяч градусов. Установки лазерного нагрева: аппараты для микросварки, станки для прошивки отверстий, обработки алмазов.

Электрический нагрев воды и получения пара осуществляют с помощью элементных, электродных и индукционных водонагревателей и паровых

установок. Электрические водонагреватели различают по:

- способу нагрева - элементные (косвенного нагрева), электродные (прямого нагрева) и индукционные, представляющие собой трехфазный понижающий трансформатор, вторичные обмотки которого выполнены из стальной трубы и электрически замкнуты между собой (вторичный ток трансформатора нагревает трубку, заполненную текущей в ней водой);

- исполнению - водонагреватели выпускаются для установки на полу вертикальными, горизонтальными и установки на стене;

- разбору воды - сливом или вытеснением. В зависимости от конструкции при отсутствии разбора воды в резервуаре водонагревателя может быть атмосферное, высокое и низкое давление;

- принципу действия - проточные (прямоточные, быстродействующие) и непроточные (аккумуляционные или емкостные) водонагреватели.

Проточные водонагреватели позволяют получать горячую воду сразу же после их включения. Недостатки: сравнительно высокая установленная мощность при низком коэффициенте использования и необходимость дополнительной мощности трансформатора и пропускной способности сетей при включении их в часы максимума нагрузки. Емкостные водонагреватели запасают горячую воду, имея меньшую установленную мощность на единицу полезного объема, включаются в часы «провалов» суточных графиков нагрузки, поддаются автоматизации, обеспечивая высокие экономические показатели нагрева воды.

Наиболее всего требованиям и характеру с.х. производства удовлетворяют автоматизированные водонагреватели – термонасосы со встроенными нагревателями.

Элементные водонагреватели выполняются с герметическими резистивными нагревателями (ТЕНами) и по сравнению с электродными, поэтому, безопасны в эксплуатации, не загрязняют воду, имеют неизменную мощность в процессе нагрева. Однако они менее надежны из-за ограниченного срока службы нагревателей, имеют более высокие стоимостные показатели. Сами нагреватели взрывоопасны. По сравнению с электродными водонагревателями элементные имеют невысокую мощность и используются для горячего водоснабжения сравнительно мелких разбросанных потребителей и где важны требования к электробезопасности.

Индукционные нагревательные устройства для нагрева воды нерациональны, так как требуют больших затрат металлов на единицу мощности, имеют пониженный к.п.д.

Элементный аккумуляционный водонагреватель состоит из цилиндрического бака с теплоизоляцией и металлического кожуха. В баке установлены трубчатые электронагреватели (ТЭНы), терморегулятор и термометр. Для забора воды из водонагревателя открывают вентиль на входном патрубке. При этом вода поступает в нижнюю часть бака и вытесняет из верхней части теплую воду. Имеется шкаф управления работой электрического водонагревателя.

В с.х. используются элементные емкостные водонагреватели типов УАП, ВЭТ, САОС, ЭВА емкостью от 200 до 1600 л. мощностью от 6 до 30 кВт., проточные - САЗСВНС, ВЭП, ЭВ - Ф - 15, ЭВПЗ - 15 емкостью до 12 литров, мощностью до 15 кВт.

Выбор электрических водонагревателей производят по массе расходуемой воды, подаче  $g$  макс., начальной  $Q_{нач}$  и конечной  $Q_{кон}$  температур воды. Эти параметры определяют мощность водонагревателя:

– аккумуляционного

$$P = K_3 \cdot m \cdot c (Q_{кон} - Q_{нач}) \cdot 10^3 / 3600 \cdot t \cdot \eta, \text{ кВт.}$$

где  $K$  - коэффициент запаса мощности ( $K=1.1...1.2$ );

$m$  - масса нагреваемой воды, кг;

$c$  - теплоемкость воды ( $c = 4186 \text{ Дж/кг } \text{с}$ );

$t$  - время нагрева, ч;

$\eta$  - к.п.д. водонагревателя;

– проточного

$$P = g_{max} \cdot c (Q_{кон} - Q_{нач}) / 3600 \eta$$

Регулирование мощности водонагревателей осуществляется путем разбиения ТЭНов на трехфазные секции и их соответствующего включения, а также ( в установках небольшой мощности) за счет последовательно–параллельно пересоединения нагревателей.

Регулирование и поддержание температуры воды в системе осуществляется с помощью терморегулятора.

Последовательность выборов ТЭНов заводского исполнения заключается в том.

Мощность, которую можно снять с единицы поверхности трубка ТЭНа ( удельная нагрузка), зависит от условий его работы, материала трубки и наполнителя ( см. таблицу).

| Нагреваемая среда                | Характер и условия нагрева                   | Материал трубки                          | Допустимые удельные нагрузки (W), Вт/см <sup>2</sup> |
|----------------------------------|--|--|--|
| Вода                             | Нагревание, испарение                        | Медь, латунь, нержавеющая сталь, Х18Н10Т | 9...11   |
| Воздух                           | Нагрев в спокойной среде                     | Сталь 10...12, латунь, НСТ               | 1,2...1,8<br>2,3...5,0                               |
|                                  | Нагрев движущегося воздуха                   | Сталь 10...20, НСТ                       | 4,5...5,0<br>4,5...5,5                               |
| Молоко                           | Подогрев в ёмкости                           | НСТ                                      | 1,5...2,0  |
| Лучистый обогрев животных и птиц | С экранами при высоте подвеса не менее 1,5 м | НСТ                                      | 5,0...6,0  |
| Металл                           | Минимальный контакт                          | НСТ                                      | 4,0  |
| Бытовые электроприборы           | Нагреватели защиты в металл конфорки         | Стали 10...20                            | 5,0...7,0  |
| Масло                            | Подогрев в ёмкости                           | НСТ                                      | 10...20  |

Затем находят активную поверхность всех нагревателей:

$$F_{акт} = \frac{P_{расч}}{W_{доп}}$$

Активную поверхность одного нагревателя:

$$F_{\text{акт.ад.}} = \pi d l_{\text{акт}}$$

Где  $d, l_{\text{акт}}$  – диаметр и активная длина нагревателя.

Необходимое число нагревателей:

$$n = \frac{F_{\text{акт}}}{F_{\text{акт.ад.}}}$$

Основные правила эксплуатации и техники безопасности при обслуживании элементных водонагревателей заключается в следующем:

- Корпус водонагревателя должен быть заземлён. В сети напряжение 220-380В с заземлённой нейтралью. Для заземления корпус присоединяют к нулевому проводу сети.

- При отсутствии устройств для выравнивания потенциалов и защитно-отключающих устройств потока утечки. Водонагреватели к водопроводной сети необходимо присоединить через изоляционную вставку длиной не менее 1 м.

- Эксплуатация нагревателя в неисправном состоянии, а также при отсутствии защиты и предохранительных устройств запрещается.

- Запрещается включать водонагреватель не заполненный водой в сеть, т.к. в этом случае из-за уменьшения теплоотдачи ТЭНы перегорают.

### 7.3 Автоматизация электронагревательных установок

Автоматизация электронагревательных установок позволяет снизить расход электроэнергии, сократить численность обслуживающего персонала, повысить количество и качество сельскохозяйственной продукции, оздоровить условия и повысить производительность труда.

Эффективность автоматизации зависит от требований, предъявляемых к точности поддержания тепловых режимов, и влияния погрешности регулирования на качество обрабатываемой продукции.

При выборе средств автоматизации установок следует стремиться использовать такую аппаратуру, которая обеспечивала бы необходимый технико-экономический эффект, а ее эксплуатация не требовала по возможности привлечения обслуживающего персонала высокой квалификации.

Под автоматическим управлением электронагревательными установками понимают автоматическое, то есть без непосредственного участия человека, выполнение с заданной последовательностью различных операций, таких, как включение и отключение установки, изменение и регулирование режима нагрева, а также защита установок при аномальных режимах работы (коротких замыканиях и перегрузках).

В качестве аппаратов систем управления и защиты применяют в основном релейно-контактную аппаратуру. Последовательность включения аппаратов управления, необходимая для согласованной работы установки, предотвращения поломок и обеспечения безопасных условий работы людей, в схемах автоматического управления осуществляется, как правило, при помощи блокировочных цепей.

Схемные решения блокировочных цепей аналогичны таковым при управлении электроприводами.

Управление пуском установок зависит от значения пускового тока. Прямое включение в сеть допускает, как правило, большинство установок с резистивными металлическими электронагревателями. Распространенным приемом, повышающим скорость нагрева, является включение электронагревательных установок на повышенную мощность в начале разогрева.

Электронагревательные установки предназначены для получения и передачи тепловой энергии к объекту нагрева (или обогрева), поэтому их автоматизация в конечном итоге призвана обеспечить регулирование теплового потока.

Учитывая, что превращение электрической энергии в тепловую практически безынерционно, интенсивность нагрева среды зависит от мощности установки, способа ввода тепловой энергии, объекта нагрева (объемного или поверхностного) и теплофизических свойств нагреваемой среды.

Регулируемыми параметрами электронагревательной установки могут быть температура нагреваемой среды в рабочей зоне, мощность, ток, напряжение и производительность установки в замкнутых системах управления с обратными связями.

Системы регулирования подразделяют по следующим признакам:

– по виду регулируемого параметра: температуре нагреваемой среды, рабочему току, напряжению, производительности установки и их производным.

наиболее широко распространены системы регулирования по температуре нагреваемой среды (микроклимат производственных помещений, водонагреватели, электротермические печи и др.).

– по рабочему току регулируются электродуговые и индукционные установки.

– по производительности можно регулировать проточные установки для нагрева жидкостей и воздуха (водонагреватели, пастеризаторы, калориферы).

– по количеству обратных связей регулирования: одноконтурные и многоконтурные.

Многоконтурные системы применяют при повышенных требованиях к качеству регулирования теплового режима в быстродействующих процессах электронагрева (например, при электродуговом и индукционном нагреве, где обратные связи могут быть как по току, так и по напряжению).

– по принципу действия: непрерывного и дискретного действия. Последние можно разделить на релейные и импульсные.

В системах непрерывного действия изменение мощности установки непрерывно следует за величиной рассогласования на входе регулятора. В системах релейного действия мощность изменяется ступенчато, в зависимости от знака рассогласования, а в системах импульсного действия мощность установки представляет собой последовательный ряд импульсов, амплитуда, длительность или частота которых зависят от величины рассогласования.

Наиболее распространены системы релейного действия, главное преимущество которых заключается в простоте ступенчатого управления мощностью установки («включено — выключено»). Однако в связи с быстрым развитием силовой полупроводниковой техники (тиристоры, симисторы) все шире используют более точные и надежные системы непрерывного действия.

По типу электрической аппаратуры: релейно-контактные и бесконтактные.

В большинстве случаев необходимую надежность обеспечивают простые релейно-контактные схемы управления электронагревательными установками, особенно при невысоких требованиях к точности регулирования температуры (при погрешности  $\pm 2...3^{\circ}\text{C}$ ).

При высокой скорости и повышенной точности нагрева, особенно при работе установок в агрессивных средах, предпочтительна бесконтактная аппаратура управления (установки микроклимата, контактная сварка и т. д.).

По степени централизации управления: индивидуальные, групповые и централизованные.

В большинстве случаев используются индивидуальные автоматические регуляторы температуры. Однако иногда значительная рассредоточенность установок при их большом количестве и невысокой мощности (например, местные электрообогреватели животных и птицы, количество которых достигает нескольких сотен в одном помещении) делает индивидуальное регулирование экономически нецелесообразным. Поэтому в подобных случаях более выгодно групповое или даже централизованное управление и регулирование.

Во всех случаях выбора автоматического регулятора важнейшее значение имеют динамические характеристики электронагревательных установок.

#### **7.4 Принцип действия холодильных установок и их автоматизация**

Охлаждение с.х. продуктов и хранение их при низкой температуре позволяет сохранить их естественные качества и витамины, замедляет жизненные процессы, уменьшает потери, увеличивает сроки сохранности питательных свойств молока, мяса, рыбы, овощей, фруктов. Продукты хранят при различных температурах в зависимости от вида продукта при относительной влажности 80..95%.

В сельском хозяйстве холод получают безмашинным способом (ледники, льдосоляное охлаждение) и при помощи специальных холодильных машин. При машинном охлаждении теплота от продуктов и окружающей их среды отводится во внешнее пространство при помощи низкокипящих холодильных агентов (фреон - -30..-40 $^{\circ}\text{C}$ , аммиак - -33,4 $^{\circ}\text{C}$ ).

Холодильные машины, как и тепловые насосы, могут быть: компрессионными (механическими), абсорбционными (термохимическими), полупроводниковыми (термоэлектрическими). На животноводческих фермах находят применение компрессионные и полупроводниковые тепловые насосы.

Остановимся сначала на трансформаторах тепла. Трансформатором тепла называют установку, повышающую (трансформирующую) температурный потенциал тепловой энергии низкотемпературного источника до уровня, превышающего потенциал приемника тепла, имеющего более высокую температуру. Перенос тепла осуществляется согласно законам термодинамики и возможен только при затрате внешней энергии, которая потребляется тепловым насосом от сети. На этом же принципе основана работа и холодильных машин. Различие между тепловыми насосами и холодильными машинами состоит лишь в соотношении между температурными уровнями: нижним  $T_1$  (источник тепла), верхним  $T_2$  (приемник тепла) и  $T_0$  (окружающей среды).

Для искусственного охлаждения используют специальные холодильные машины.

Холодильные машины разделяют по способу охлаждения, принципу работы, назначению, холодопроизводительности, объему рабочей камеры и т. д.

В холодильных машинах сельскохозяйственного назначения используют в основном следующие способы охлаждения: фазовое превращение вещества при кипении и термоэлектрический эффект.

Фазовое превращение вещества при кипении — процесс перехода его из жидкого в парообразное состояние с отбором тепла от охлаждаемой среды. Рабочую жидкость, посредством которой происходит отбор и передача тепла, называют холодильным агентом (хладоагентом).

В холодильных машинах наиболее распространены фреон-12 и аммиак, которые имеют низкую температуру кипения. При атмосферном давлении температура кипения фреона-12 составляет минус 29,8°С, а аммиака минус 33,6°С.

По принципу работы холодильные машины с фазовым превращением вещества подразделяют на компрессионные и адсорбционные.

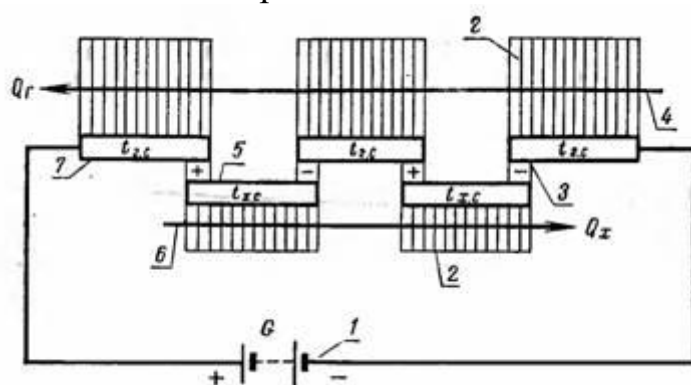


Схема термоэлектрической холодильной машины:

- 1 — источник постоянного тока; 2 — радиатор (теплообменник); 3 — полупроводник;  
4 — нагреваемая среда; 5 — холодный спай; 6 — охлаждаемая среда; 7 — горячий спай.

Компрессионная холодильная машина основана на превращении механической энергии электродвигателя компрессора в энергию сжатия и конденсации паров хладагента с последующим кипением в испарителе и отбором тепла от охлаждаемой среды.

Адсорбционная холодильная машина основана на том же физическом принципе, что и компрессионная, однако рабочий цикл здесь совершается не за счет механической энергии, а за счет тепловой.

Машина работает на смеси двух веществ (так называемой бинарной смеси), из которых одно является собственно хладагентом, а другое абсорбентом, то есть веществом, поглощающим или растворяющим пары хладагента после кипения.

Преимуществом адсорбционных холодильников перед компрессионными является отсутствие движущихся частей, простота устройства и полная бесшумность в работе. Однако адсорбционные холодильные машины менее экономичны в работе, имея повышенную температуру внутри холодильной камеры.

Термоэлектрическая холодильная машина основана на эффекте термоэлектрического охлаждения и нагрева. При пропускании постоянного тока по цепи, состоящей из двух разнородных металлов, образующих термоэлектрический

элемент (рис. 16.1), один из спаев нагревается, другой — охлаждается. При изменении направления тока на противоположное спай, который ранее нагревался, будет охлаждаться, а другой спай, который раньше охлаждался, будет нагреваться. Значительную разность температур на спаях получают в парах, составленных из полупроводниковых материалов (соединения висмута, сурьмы, селена с добавлением различных присадок).

Следует отметить, что преобразование электрической энергии в холодильных установках позволяет на 1 кВт-ч затраченной энергии одновременно получать до 2...5 кВт-ч полезно используемой тепловой энергии. Такие установки для комплексного использования энергии называют электротепловыми насосами.

## Лекция 8.

### ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН И РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

8.1 Электрооборудование подъемно-транспортных устройств.

8.2 Электрооборудование ручного инструмента.

#### 8.1 Электрооборудование подъемно-транспортных устройств

Из подъемников рассмотрим электрифицированные тали и кран-балки. Они широко распространены на ряде ремонтных, строительных и промышленных предприятиях. Особенно в тех случаях, когда установка подъемного устройства определяется необходимостью перемещения грузов и деталей машин в период строительства, монтажных и ремонтных работ как внутри производственных помещений, так и на открытых территориях. Тали и кран-балки по своим габаритам меньше мостовых кранов, вследствие чего значительно сокращаются размеры их установки.

Таль и кран-балка состоят из двух конструктивно связанных механизмов: подъема и передвижения, каждый из которых приводится собственным двигателем с короткозамкнутым или фазным ротором. Передвигается таль по двутавровой балке на ходовых колесах приводимых двигателем через редуктор. Конструкция кран-балки отличается от тали тем, что балка, на которой она перемещается, может двигаться вдоль производственного помещения. Механизм подъема их состоит из подъемного барабана, приводимого во вращение двигателем через редуктор. Скорость перемещения тележки составляет 20...25 м/мин, а скорость подъема - 4... 50 м/мин.

Режим работы электродвигателей привода подъема и передвижения повторно-кратковременный (рис. 1). Мощность электродвигателя для механизмов выбирают в каталоге с учетом эквивалентной мощности:

$P_{\text{эkv}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{0,75 t_1 + t_2}}$  определяемой по нагрузочной диаграмме, режима работы по продолжительности включения  $\text{ПВ}\% = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_2 + t_0} \cdot 100\%$ ;

$P_{\text{эkv.ст}} = P_{\text{эkv}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{\text{ПВ}\%}}$  и проверяют выбранный по каталогу двигатель на погрузочную способность  $M_k > \frac{M_{\text{с.макс}}}{M_{\text{н.дв}}}$

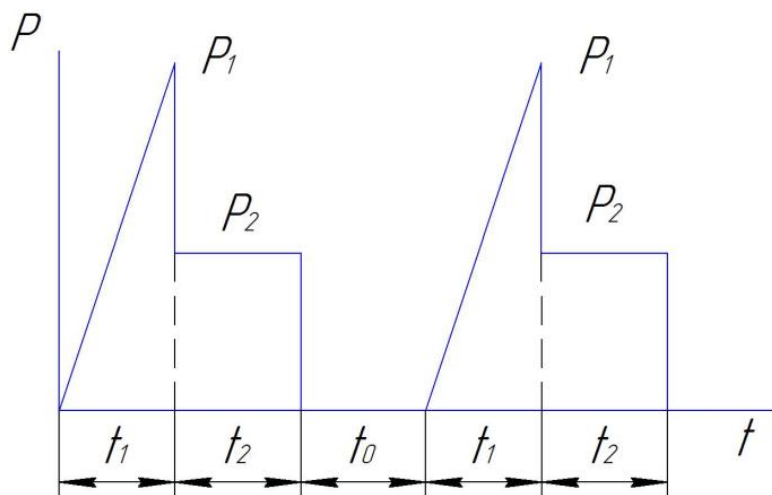


Рис.1 Нагрузочная диаграмма механизмов.

Электродвигателями толей и кран-балок управляют при помощи реверсивных магнитных пускателей и пусковых кнопок, подвешиваемых на гибком бронированном кабеле.

На рис.2 приведена схема управления двигателями. Напряжение к силовым цепям и катушкам контактов подъема КМП, спуска КМС, а также передвижения вперед КМВ и назад КМН подводится через автоматический выключатель. Движение подъемного устройства вверх ограничивается конечным выключателем SQ. Блокировка контакторов каждого двигателя от одновременного включения осуществляется

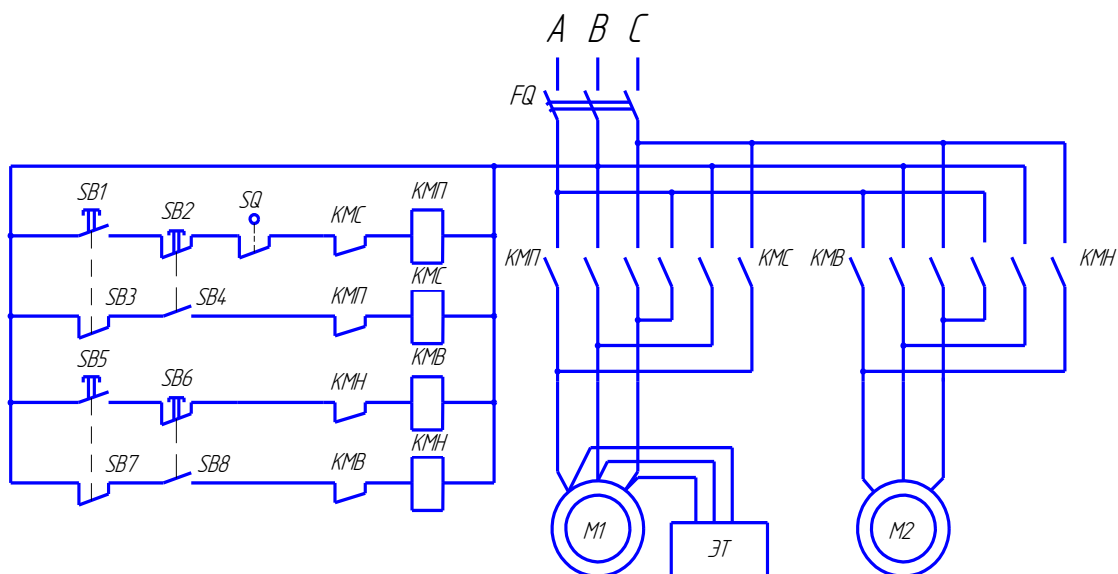


Рис.2 – Принципиальная электрическая схема электропривода кран-балки:

КМП, КМС - контакторы подъема и спуска; КМВ, КМН - контакторы передвижения вперед и назад;  
 SQ - конечный выключатель ограничения движения подъемного устройства вверх;  
 SB1... SB8 - кнопки управления кнопочных станций; ЭТ - электрический тормоз; M1 - двигатель механизма подъема и спуска; M2 - двигатель механизма передвижения.

При работе двигателя необходимо держать соответствующую кнопку управления во включенном состоянии, так как на таях и кран-балках не применяется шунтирование кнопок управления «Пуск» соответствующими блок-кон-

тактами контакторов. Это предотвращает уход подъемного устройства от оператора, так как если последний отпускает подвесную кнопочную станцию, то двигатель отключается от сети.

Механизмы непрерывного транспорта проще по своему устройству и эксплуатации, чем такие транспортные средства, как краны и подъемники, имеющие циклический характер нагрузки. По количеству перемещаемых грузов и длине трасс механизмы непрерывного транспорта часто могут успешно соревноваться с автомобильным и железнодорожным транспортом и могут быть использованы для перевозки пассажиров. Наиболее распространенными механизмами непрерывного транспорта являются конвейеры различных типов, конструкция которых определяется главным образом характером перемещаемых грузов, весом и скоростью их движения: ленточные, пластинчатые, рожковые, цепные, подвесные. Наиболее распространены ленточные конвейеры для транспортировки сыпучих грузов: зерна, песка, глины, руды, угля и тому подобное.

К электроприводу конвейеров предъявляются требования высокой надежности, простоты обслуживания, плавности и обеспечение повышенного момента при пуске, небольшого регулирования скорости и согласованному вращению нескольких электроприводов при значительной длине конвейера (до 1500 м). Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и с контактными кольцами. Двигатель должен располагаться, как правило, после участка с наибольшей нагрузкой (большое число грузов, крутые подъемы и перегибы). Обычно двигатель располагается в наивысшей точке подъема.

Применение многодвигательных приводов позволяет улучшить эксплуатационные показатели по сравнению с одиночным (при работе вхолостую может работать один двигатель, под нагрузкой два, а в случае завалов конвейеров транспортируемыми материалами, возможен и пуск всех двигателей одновременно). Кроме того, улучшается равномерность ленты или цепи конвейера, уменьшается нагрузка тягового органа (механическое оборудование может быть выбрано более легким). Однако при этом возникает необходимость в согласованном движении нескольких двигателей конвейеров. Для этого применяются системы согласованного вращения по схеме машин двойного питания, то есть статорные обмотки двигателей подключены в сеть переменного тока постоянной частоты, а роторные обмотки двигателей питаются от преобразователя частоты.

Основным средством автоматизации, применяемым в поточно-транспортных системах, являются блокировки, осуществляющие между электроприводами взаимную связь, соответствующую технологическому процессу. Блокировки обеспечивают определенный порядок пуска и остановки отдельных двигателей. Кроме того, на всю установку имеется централизованное управление, общее для всех механизмов данной поточно-транспортной системе. Для пуска участка достаточно включить двигатель механизма, расположенного последним по потоку материала; это приведет к автоматическому включению всех предшествующих механизмов этого участка.

Блокировочные связи электроприводов обеспечивают необходимую последовательность пуска механизмов, соответствующую технологическому потоку материала.

Делается это во избежание завала транспортируемым материалом отдельных механизмов. В этих же целях блокировки приводят к отключению двигателей всех предшествующих по потоку механизмов при остановке любого механизма.

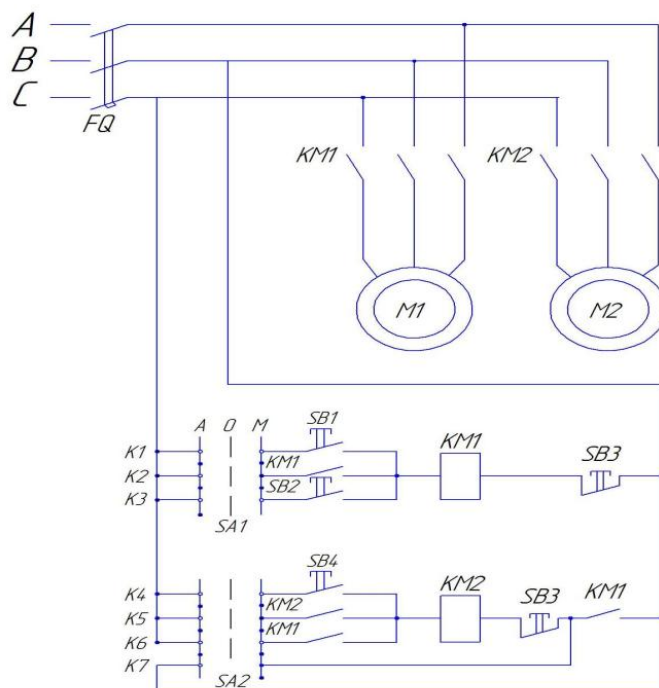


Рис.3. Схема управления участком поточно-транспортной системы. А - централизованное автоматическое включение; В - местное; SA1, SA2 - универсальные переключатели; KM1, KM2 - контакторы управления; SB1... SB5 - кнопки управления кнопочных станций, двухцепными кнопками, установленными на подвижной кнопочной станции, и размыкающими контактами контакторов КМС в цепи КМП и наоборот, КМН в цепи КМВ и наоборот.

Схема управления участком поточно-транспортной системы (рис. 3) предусматривает два режима управления:

А – централизованное автоматическое включение; М – местное. Выбор режима производится с помощью универсальных переключателей SA1 и SA2.

Местное управление осуществляется оператором непосредственно у места установки пусковых аппаратов привода конвейера. Универсальные переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение М. При этом замыкаются контакты К1, К2, К4, К5, К7 (шунтирует блок-контакты KM1 в цепи катушки KM2). Пуск и остановка транспортеров в этом режиме производится кнопками SB1 и SB4 «Пуск», SB3 и SB5 «Стоп».

Автоматическое централизованное управление позволяет освободить человека от непосредственного участия в пуске каждого приводного двигателя технологической цепи механизмов. При этом способе управления оператор дает только начальный командный импульс на пуск и остановку механизмов. Универсальные переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение А. При этом замыкаются контакты К2, К3, К5, К6. Двигатели пускаются кнопкой SB2 «Пуск». При этом сначала запускается двигатель М1, блок-контакты катушки контактора KM1 замыкаются в цепи управления катушки контактора KM2. На неё подается напряжение и запускается двигатель М2. Двигатель М2 останавливается при нажатии на кнопку SB5 «Стоп», а М1 и М2 одно-

временно останавливаются кнопкой SB3 «Стоп».

## 8.2 Электрооборудование ручного инструмента.

Ручные электромеханизированные инструменты различаются:

- по видам работ, для которых они предназначены: сверление, нарезание резьбы, шабрение, распиловка, строгание, фрезерование, обдирка и так далее;
- по характеру движения рабочего органа: вращательное, возвратно-поступательное;
- по конструктивному оформлению корпуса: инструменты с нагрудником, инструменты с рукояткой, инструменты пистолетной формы.

К ручному механизированному инструменту предъявляются следующие требования:

- малая масса;
- удобство и безопасность в работе;
- двигатель должен обладать жесткой механической характеристикой, большой перегрузочной способностью и повышенной механической прочностью;
- надежность;
- экономичность.

Электрифицированный ручной инструмент получает рабочее движение от двигателя, а подача и управление осуществляется в ручную. Ручной электроинструмент переносной, однако, он может быть использован и как стационарный после закрепления на консолях, колонках, штативах. В общем случае ручной инструмент состоит из рабочего органа или механизма, электродвигателя и передачи. Электрическая энергия подводится гибким проводом или кабелем. В качестве электропривода применяют асинхронные трехфазные и однофазные электродвигатели обычной и повышенной частоты вращения, универсальные коллекторные двигатели (работают от переменного и постоянного тока). Основным недостатком однофазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором заключается в том, что их масса значительно больше массы двигателей других типов при одинаковой мощности и частоте вращения. Поэтому их желательно не применять для привода ручных инструментов, или используют в бытовом ручном инструменте.

Передача момента от двигателя к рабочему органу может осуществляться через редуктор (цилиндрический, конический, червячный), ременную передачу, редуктор и кривошипный вал, непосредственным образом (рабочие органы находятся прямо на валу). Рабочие органы инструмента требуют определенной, оптимальной для них скорости движения. Поэтому недостаточное число и масса редуктора при повышении частоты вращения двигателя увеличивается. Следовательно, суммарная величина масс редуктора и двигателя в зависимости от частоты вращения должна иметь минимум. Для ручного инструмента минимум находится в области 8...12...24 тысяч об/мин. Привести пример с машинкой для стрижки овец. Двигатели электроинструментов в основном работают в повторнократковременном режиме и рассчитаны на продолжительность включения 40, 60%. По данным наблюдений двигатели в основном работают с

ПВ в пределах 40... 75%. Во время работы необходимо следить за температурой корпуса электроинструмента, которая не должна превышать температуру окружающего воздуха больше чем на 20°C. Попытки замены металлического корпуса электроинструмента на пластмассовый в целях электробезопасности для некоторых инструментов (стригальная машинка для овец) не увенчались успехом. Так как теплоотдача металла значительно выше чем теплоотдача пластмассы, то электродвигатель ручного инструмента с пластмассовым корпусом перегревался и выходил из строя.

Перечень электрофицированных ручных инструментов, применяемых в сельском хозяйстве, весьма обширен и разнообразен. Приведем сведения только о некоторых из этих инструментов, наиболее распространенных.

**Электродрели по металлу** применяют не только для сверления отверстий в различных материалах, но и для выполнения других операций, когда их шпиндель соединяют с другим рабочим инструментом (наждачный круг, шарошка, специальный патрон для заворачивания гаек и так далее). Применяют трехфазные, однофазные и коллекторные двигатели мощностью 100...800 Вт на напряжение 220, 360 В, частоту питающего тока 50, 200 Гц, частота вращения вала 2800, 10000...12000 об/мин, масса 1,4... 9,0 кг, диаметр сверла до 25 мм.

**Электродрели по дереву.** В них для привода используются двигатели на напряжение 220 В, частотой питающего тока 50 Гц, мощностью 450...600 Вт, частотой вращения вала двигателя 2800 об/мин, а вала дрели 480...560 об/мин при массе до 9,8 кг и наибольшем диаметре сверла 32 мм.

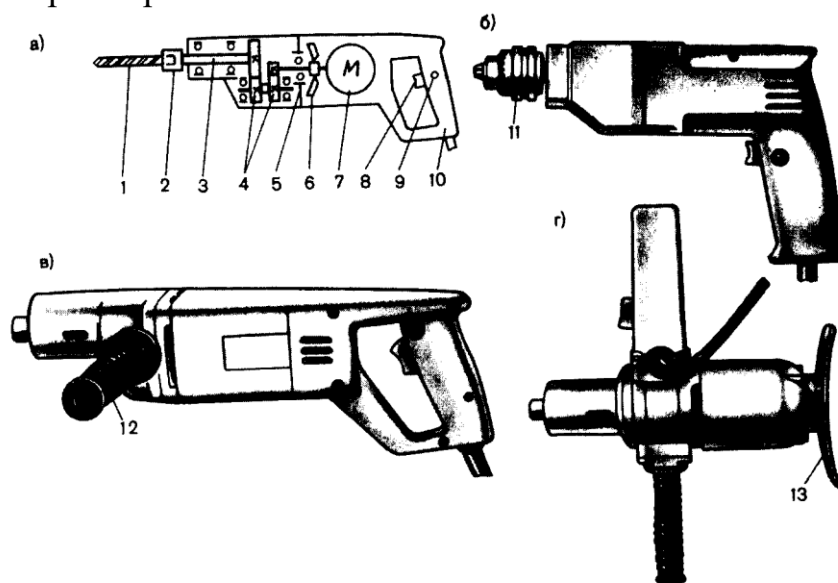


Рис. 4 Электрические ручные сверлильные машины

- 1 – сверло; 2 – внутренний (наружный) конус Морзе; 3 – шпиндель; 4 – двухступенчатый цилиндрический косозубый редуктор; 5 – промежуточный щит; 6 – вентилятор; 7 – электродвигатель; 8 – курковый выключатель; 9 – фиксатор; 10 – рукоятка; 12 – боковая рукоятка; 13 – грудной упор.

Для нарезания резьбы применяют **электрорезьбонарезатели**, а для заворачивания болтов, гаек - **электрогайковерты**. В отличие от сверлильных машин этим машинам после окончания работы сообщается реверсирование двигателя для вывинчивания метчика или после достижения заданного вращающего момента для болтов и гаек ос-

тановку двигателя, а затем включение на обратное вращение (по току реле, установленного в фазе двигателя).

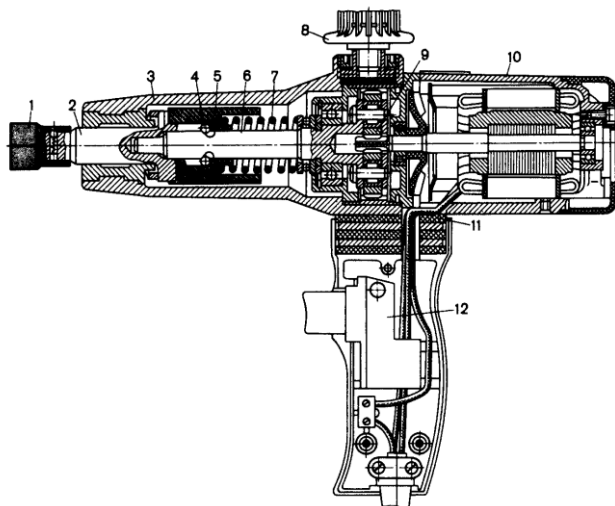


Рис. 5 Электрический частоударный гайковерт:

- 1 – сменная головка; 2 – кулачки шпинделя; 3 – корпус; 4 – два шарика; 5 – подпружиненный ударник; 6 – приводной вал ударно-вращательного механизма; 7 – рабочая пружина; 8, 12 – дополнительная и основная рукоятки; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель; 11 – упругие элементы виброзащиты.

Для шлифования, полирования и зачистки металлических и деревянных поверхностей применяют электрошлифовальные машины. Они бывают прямые, в которых ось абразивного круга совпадает или параллельна оси вала двигателя и угловые, в которых ось абразивного круга перпендикулярна оси вала двигателя. Применяют асинхронные и коллекторные электродвигатели мощностью до 800 Вт напряжением 220, 36В частотой тока питающей сети 50 и 200 Гц.

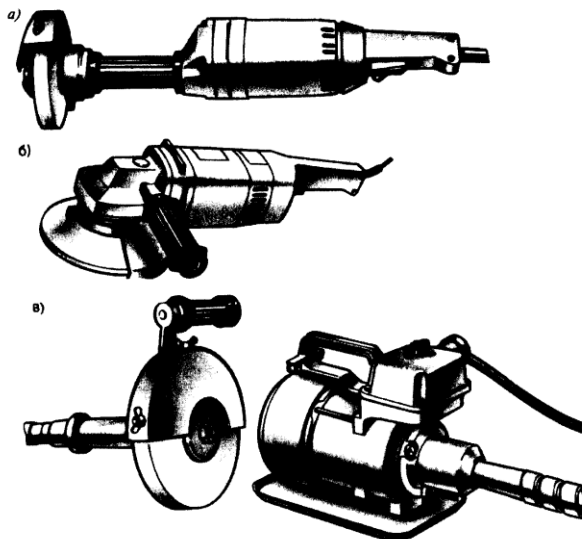


Рис. 6 Электрические шлифовальные машины

- а– прямая шлифовальная машина; б – угловая шлифовальная машина; в – шлифовальные машины с гибким валом.

Электроножницы предназначены для прямо - криволинейного резания листовой стали толщиной до 2,7 мм максимум и приводятся в действие универсальным коллекторным электродвигателем мощностью до 400 Вт напряжением 220 В, встроенным в

корпус. Вращающий момент через шестеренчатый редуктор передается кривошипному валу и который сообщает ползуну и подвижному ножу возвратно-поступательное движение. Неподвижный нож крепится к улиткообразному держателю.

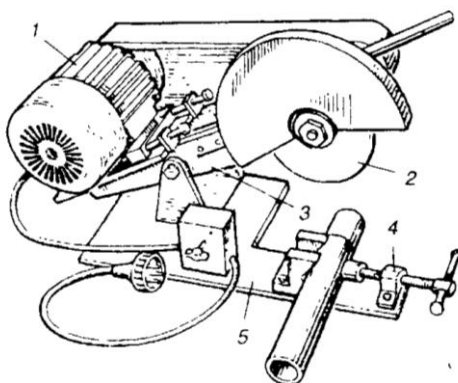


Рис. 7 Маятниковая дисковая пила

1 – электродвигатель; 2 – шпиндель с абразивным кругом; 3 – поворотный кронштейн; 4 – тиски; 5 – неподвижная опорная плита.

Применяются и **дисковые электропилы** как для резания металлических листов и профильного материала, так и для дерева (распиловка продольная и поперечная, за-резка пазов, шипов и так далее).

**Электрорубанки** в основном выпускаются с приводом от обращенного асинхронного короткозамкнутого трехфазного двигателя с внешним ротором, который одновременно служит в качестве ножевого барабана. Статор размещен внутри ротора, что позволило обойтись без редуктора и ножевого вала. Встречаются электрорубанки и с приводом ножевого барабана через ременную передачу. Электрорубанок И-24А имеет мощность двигателя 400 Вт, частоту вращения 2850 об/мин, ПВ=40%, ширину строгания 100 мм, глубину до 2,0 мм, скорость резания 18,5 м/с.

Находят применение и **электромолотки** (электромеханические, электропневматические, электромагнитные), служащие для обрубки металла, бетона и других твердых материалов, а также для пробивки отверстий, вырубки канавок и других подобных работ.

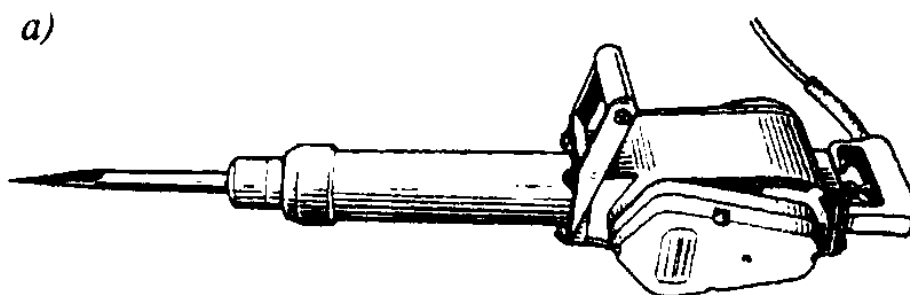


Рис. 8 Электрический компрессионно-вакуумный молоток

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

9.1 Воздействие электрического тока на живые организмы.

9.2 Основные защитные мероприятия, применяемые для защиты от электрического тока.

9.3 Техника безопасности при эксплуатации электроустановок сельскохозяйственного назначения.

### 9.1 Воздействие электрического тока на живые организмы.

При обслуживании электрических установок необходимо соблюдать действующие Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

Соблюдение правил обеспечивает надежную, безопасную, рациональную эксплуатацию электроустановок и содержание их в исправном состоянии.

При использовании электроустановок в производстве возможны случаи поражения электрическим током обслуживающего персонала.

При попадании человека под напряжение по его телу начинает протекать электрический ток. Результат воздействия электрического тока на организм человека зависит от большого числа факторов. Из них наибольшее значение имеют следующие: сила тока протекающего по телу человека, продолжительность его воздействия, путь тока по телу, напряжение, частота и др.

Основной фактор, от которого зависит исход электропоражения человека током, – **значение силы тока**, протекающего по телу человека. Если ладонь плотно охватывает провод и ток протекает сравнительно небольшое время (не более 10 мин) по пути «рука-ноги» или «рука-рука», то первое ощущение (легкий зуд в ладони) может появиться у людей с обостренной чувствительностью при токе около 0,6 мА.

*При токе около 1,5 мА* это ощущение будет испытывать практически каждый человек. При увеличении силы тока ощущение зуда распространяется на область запястья, затем появляются первые легкие судороги в предплечье.

*При токе около 4,6 мА* судороги распространяются на верхнюю часть руки, одновременно возникает боль по всей руке и пальцы начинают судорожно сжимать провод. У многих парализуются голосовые связки, и они не могут позвать помощь.

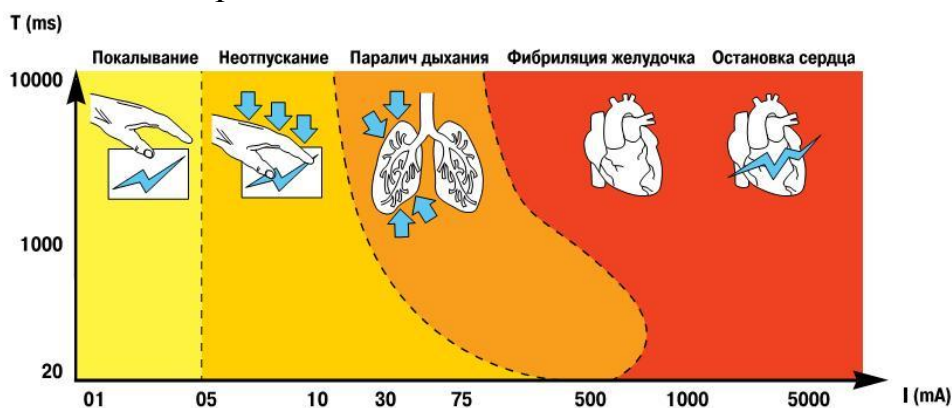
Дальнейшее увеличение тока приводит к тому, что даже при предельном напряжении воли и физических сил человек не в состоянии разжать руку и освободится от провода, находящегося под напряжением. *При токах 20...25 мА* большинство людей не могут самостоятельно освободиться от провода, а отдельные люди даже при токе 6 мА.

**Максимальным отпускающим** называют наибольший ток, при котором человек еще может оторвать руки от предмета, находящегося под напряжением. Для мужчин максимальные отпускающие токи находятся в пределах от 9 до 23 мА, а женщин от 6 до 16 мА. Ток 10 мА считается безопасным, как отпускающий для большинства взрослых людей, однако исследования показали, что 42% смертельных поражений про-

изошло при токе 10 мА.

При токах 40...60 мА и времени воздействия 1...2 с начинаются судороги грудной мускулатуры, которые достигают критической силы, вызывающей помутнение сознания и обморочное состояние.

Наибольшую опасность для жизни людей представляет вызываемое электрическим током необратимое (естественным путем) нарушение работы сердца – так называемая фибрилляция сердца. Пороговые значения фибрилляционного тока при прочих равных условиях зависят от времени его воздействия.



Последствия воздействия электрического тока на организм человека, где  
T – длительность воздействия в миллисекундах (ms)  
I – величина тока в миллиамперах (mA)

Поражение электрическим током происходит в результате прикосновения или недопустимого приближения человека к металлическим частям, находящимся под напряжением.

Прикосновения к неизолированным токоведущим частям, находящихся под напряжением (оголенные провода, клеммы шины и т.п.), называют **прямыми**; прикосновения к нетоковедущим частям, оказавшихся под напряжением (металлические корпуса электрооборудования), называют **косвенными**.

Различают однополюсные и двухполюсные прикосновения. **При однополюсном** прикосновении человек, стоящий на земле, одной рукой касается неизолированной токоведущей части или корпуса электроприёмника, оказавшегося под напряжением. Ток протекает по петле: рука - нога. **При двухполюсном** прикосновении человек, изолированный от земли, двумя руками касается неизолированных проводов разных фаз или фазного и нулевого провода. Изоляция человека от земли может обеспечиваться сопротивлением пола и обуви. Петля тока: рука – рука. **Наиболее опасным** является прямое двухполюсное прикосновение.

Электрический ток, проходя через тело человека, производит термическое, электролитическое, биологическое и электродинамическое действия. **Термическое** действие тока проявляется в нагреве и ожогах отдельных участков тела. **Электролитическое** действие - в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов. **Биологическое** действие - связано с раздражением и возбуждением живых тканей организма, что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц (легких и сердца) и может вызвать прекращение деятельности их. **Электродинамическое** действие электрического тока проявляется в возникновении при электротравмах

рванных ран и вывихов рук или ног.

*Напряжение прикосновения.* Случайное электрическое соединение частей электроустановки с конструктивными элементами, не изолированными от земли, или непосредственно с землей называется электрическим замыканием на землю (на корпус). Причины замыкания; повреждение изоляции, случайное прикосновение к токоведущей части корпуса машины, падение провода, находящегося под напряжением, на металлические части, землю. Падение напряжения на участке земли при растекании тока от заземлителя распределяется по гиперболическому закону и практически снижается до нуля в радиусе 20 м от заземлителя. Плотность тока в земле также равна нулю. Такое состояние поверхности грунта, потенциал которой равен нулю, называется землей в электрическом смысле слова. Человек, попадая в зону растекания тока в земле, окажется под напряжением прикосновения  $U_{пр} = U_3 - U_x$

Где  $U_3 = I_3 R_3$  напряжение электрода (корпуса) относительно земли;

$U_x$  напряжение на участке грунта, на котором стоит человек;

$U_{пр} = I_R R_R$ .  $U_{пр} = 0$  при  $X = 0$ ;  $U_{пр} = U_3$  при  $X \geq 20$  м.

*Шаговое напряжение.* Если человек окажется в зоне растекания тока, и ступни его ног будут расположены в точках, имеющих разные потенциалы, то на длине его шага возникает напряжение шага, соответствующее разности этих потенциалов. Шаговое напряжение ток пути нога-нога. Напряжение шаговое имеет минимальное значение при обрыве высоковольтного провода на расстоянии 5...8 м и к нему не следует подходить.

## 9.2 Основные защитные мероприятия, применяемые для защиты от электрического тока

Условия с повышенной опасностью поражения людей электрическим током:

- влажность (пары или конденсирующаяся влага, выделяющаяся в виде мелких капель, относительная влажность более 75%);
- проводящая пыль (технологическая или другая пыль, осевшая на проводах, проникая внутрь машин и аппаратов и отлагаясь на электроустановках, ухудшают условия охлаждения изоляции, но не вызывает опасности пожара или взрыва);
- токопроводящие основания (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);
- повышенная температура (независимо от времени года и различных тепловых излучений);
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

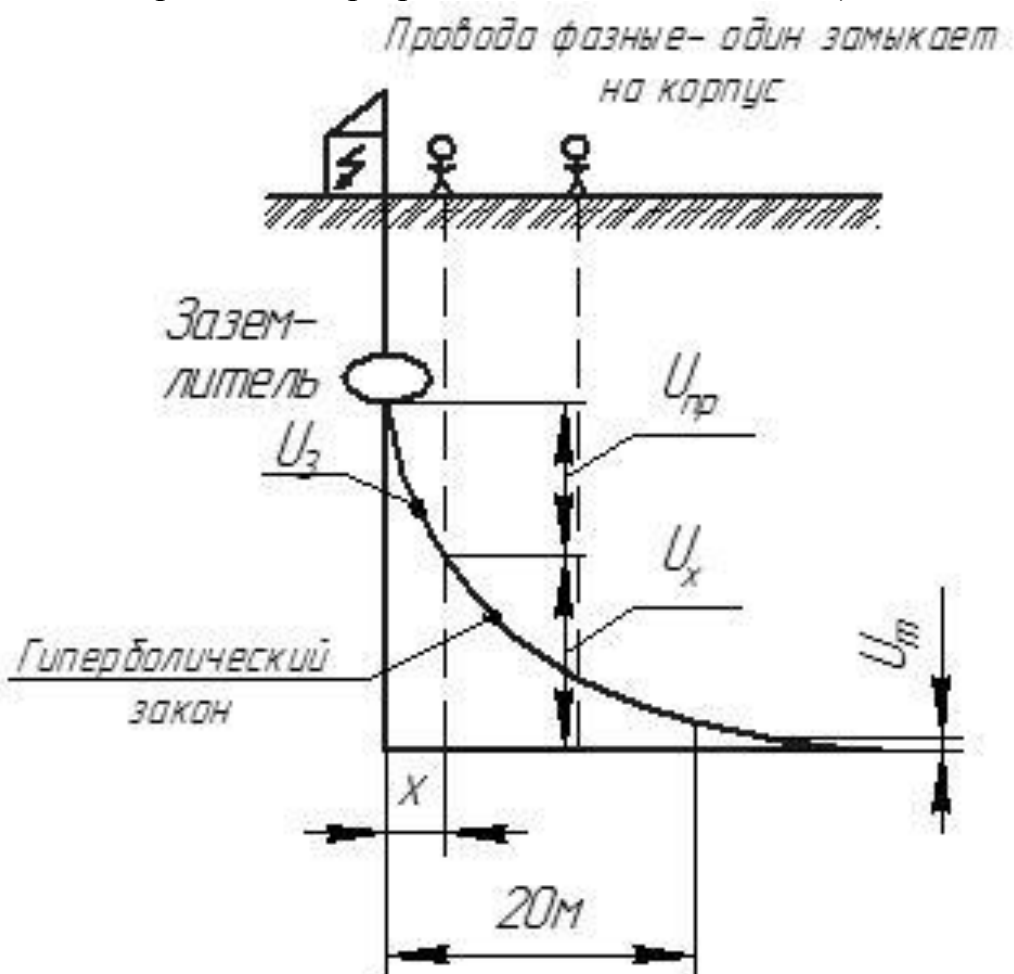
Для защиты от прикосновения к частям электроустановок, нормально находящихся под напряжением и от поражения электрическим током, при соприкосновении с частями электроустановок, которые нормально не находятся под напряжением, но при повреждении изоляции приобретают опасный потенциал, проводят порознь или в сочетании следующие защитные мероприятия: защитные ограждения, защитные изолирующие средства и предупредительные плакаты (предупреждающие, запрещающие, разрешающие, напоминающие), индивидуальные

средства защиты (основные и дополнительные), защитное заземление, зануление, защитное отключение, двойную изоляцию, разделяющие трансформаторы, пониженное напряжение, выравнивание потенциала.

Изоляция. Важнейшим средством защиты от прикосновения к частям электроустановки служит электрическая изоляция. Ее сопротивление измеряют мегомметром на 1000В не реже одного раза в 2 года у электропроводки в обычных помещениях и ежегодно в помещениях с едкими парами, сырых, взрыво- и пожароопасных. Сопротивление между проводом одной из фаз и землей или между фазами должно быть не менее 0,5 Мом. А если меньше, то изоляцию надо испытать в течение 1 минуты напряжением 1000В переменного тока или мегомметром на напряжение 2500В. Для электродвигателей в холодном состоянии норма сопротивления изоляции 1 Мом имеются, различные способы сушки изоляции (1000 Ом на 1В работы напряжения).

Защитные ограждения. Оголенные токоведущие части, которые невозможно расположить на высоте, недоступной для прикосновения, защищают кожухами, сплошными или сетчатыми ограждениями.

Изолирующие средства и инструменты, указатели напряжения, предупредительные плакаты. Для защиты от прикосновения к нормально находящимся под напряжением частям электроустановок используют защитные изолирующие средства и инструменты, указатели напряжения, предупредительные плакаты (предостерегающие, запрещающие, разрешающие, напоминающие).





### Индивидуальные средства защиты (основные и дополнительные).

Изолирующие защитные средства по степени надежности делятся на основные и дополнительные. К основным относятся те, изоляция которых выдерживает рабочее напряжение установки и допускает непосредственное соприкосновение с напряжением установки (штанги, клещи, инструмент рукоятками до 1000В, диэлектрические перчатки до 1000В). Дополнительные изолирующие защитные средства служат дополнительной гарантией на случай повреждения основных средств, появления напряжения на частях установки, уменьшения действия напряжения прикосновения или шагового (боты, галоши, коврики, перчатки при напряжении выше 1000В, очки, предохранительные пояса и страхующие канаты). Все изолирующие защитные средства должны проходить периодические испытания соответствующим напряжением и в соответствующие сроки.

Неоновая лампочка светится от активного тока утечки через конденсатор.

Заземление и зануление. Заземлением называют соединение частей электроустановки с заземляющим устройством (совокупность заземлителя и заземляющих проводников). Заземлитель - проводник или группа электрически соединенных проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей. Заземляющие проводники - металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановок с заземлителем. Электроустановки, конструкции зданий, металлические трубопроводы подлежат заземлению. Защитное заземление применяют во всех электроустановках напряжением выше 1000В, а также в установках до 1000В с незаземленной нейтралью.

В сетях напряжением 380В с наглухо заземленной нейтралью применяют зануление. Под занулением понимают соединение корпусов электроприемников, каркасов распределительных щитов и шкафов, стальных труб электропроводки, металлических оболочек кабелей и проводов, станины станков с заземленной нейтральной точкой (нулевой точкой) генератора или вторичной обмоткой трансформатора, питающего сеть. В качестве зануляющих обычно используют рабочие нулевые провода. К однофазным электроприемникам (например, светильники, электроинструмент, холодильники в некоторых случаях) прокладывают отдельный (третий) зануляющий проводник. При замыкании фазы на зануленный

корпус электроприемника или другие детали установки происходит однофазное короткое замыкание, которое должно вызвать достаточно быстрое ( доли или несколько секунд) отключение поврежденного участка электроустановки. Применение в электроустановках напряжением до 1000В с глухозаземленной нейтралью защитного заземления без связи с нулевой точкой источника запрещено.

На случай обрыва нулевого провода на воздушных линиях и для снижения напряжения на зануленном оборудовании при повреждении изоляции в нем( в том числе при целом нулевом проводе) по концам линий или ответвлений длиной более 200 м, а также в промежуточных точках не реже через 250 м делают повторные заземления нулевого провода. В помещениях без повышенной опасности поражения электрическим током при напряжении 220/380В, а также во всех помещениях (кроме взрывоопасных) при напряжении 36В и ниже переменного тока или 110В и ниже постоянного тока зануление и защитное заземление не применяют.

Защитное отключение. Защитное отключение происходит автоматически не более чем за 0,2с при повреждении изоляции относительно корпуса оборудования и для уменьшения вероятности поражения при однофазном прикосновении человека к сети 220/380В. Защитное отключение применяют вместо зануления или дополнения к нему. Два варианта защитного отключения: по напряжению и по току утечки.

Защитное отключение по напряжению осуществляют при помощи реле напряжения типа РН-60, ЭН-500. Вспомогательное заземление, к которому присоединена катушка реле, должно иметь сопротивление не более несколько сотен Ом ( вместо 10 или 30 Ом, которое должно было бы иметь повторное заземление при использовании зануления).

Для защитного отключения по току утечки служат: ЗОУП-25 с токами срабатывания уставки 10 и 20 мА; ИЭ9801( для электроинструмента) – уставка 10мА; У3010.2.010.11.УХП2 для однофазных токоприемников на 220В; реле утечки РУД-022 для однофазных двухпроводных цепей( контакты обеспечивают непосредственное отключение и включение защищаемой цепи); РУД- 024 для четырехпроводной сети (контакты воздействуют на катушку пускателя или расцепителя автомата); специальный автоматический выключатель на ток срабатывания от 30 до 300 мА; автоматический выключатель АК50-2МЗТО, имеющий мгновенный электромагнитный расцепитель в нулевом проводе (по току утечки в нулевом проводе).

В данных устройствах (кроме однофазного исполнения, но принцип остается тот же) трансформаторный фильтр токов нулевой последовательности или ДТНП с первичными обмотками для всех четырех проводов сети и с одной вторичной обмоткой, замкнутой на катушку реле. Пока в защищаемых токоприемниках нет утечки тока через изоляцию на землю, в магнитопроводе трансформаторного фильтра сумма мгновенных значений магнитных потоков во всех четырех катушках равна нулю. Появление тока утечки определенной величины приводит к появлению во вторичной обмотке тока, достаточного для отключения устройства защиты напрямую или через усилитель.

Двойная изоляция. Заключается в наложении двух изоляционных слоев, каждый из которых длительно и надежно выдерживает рабочее напряжение. Например, рукоятку ручного переносного светильника делают из диэлектрического материала с таким расчетом, чтобы обеспечивалась надежная изоляция на тот случай, если

произойдет повреждение рабочей изоляции внутри рукоятки. С двойной изоляцией изготавливают некоторые типы электросверлилок. Потому, хотя корпус у них металлический, заземлять или занулять их не требуется.

Разделяющий трансформатор. Первичное напряжение до 1000В, вторичное до 400В. Надежность конструкции и изоляции такого трансформатора повышенная. Его защитное действие основано на отделении электроприемника от первичной сети. Благодаря этому прикосновение к корпусу электроприемника, на котором произошел пробой изоляции, практически безопасно. Мощности электроприемника и самого трансформатора должны быть такими, чтобы с первичной стороны трансформатор защищался плавкой вставкой не более 15А или автоматом с таким же током. Запрещается заземлять и занулять вторичную обмотку разделяющего трансформатора или питающийся от него токоприемник, но корпус самого трансформатора должен быть заземлен или занулен.

Пониженное напряжение. (12...36 В) обычно получают от разделяющего трансформатора. Пониженное напряжение является дополнительной гарантией безопасности. Пониженное напряжение можно применять и как самостоятельное защитное мероприятие. При питании от одного общего понижающего трансформатора разветвленной сети 36В для местного освещения на станках трансформатор нельзя считать разделяющим и нужно занулять не только его корпус, но и нейтраль или один из выводов вторичной обмотки.

Выравнивание потенциала. Заключается в заложении в пол животноводческого помещения на глубину 20 см металлической сетки, выполненной из металлической катанки диаметром 3...4 мм и шагом, равным шагу животных. Металлическая сетка соединена с землей и металлическими конструкциями всего помещения через заземляющие проводники. При появлении опасного потенциала на одном из токоприемников, установленном в помещении, он равномерно растекается по сетке, чем и обеспечивается защита животных от поражения электрическим током.

### **9.3 Техника безопасности при эксплуатации электроустановок сельскохозяйственного назначения**

Защитные мероприятия, применяемые в электроустановках, не отвечают в полной мере условиям безопасности. Безопасность может быть достигнута лишь в сочетании с выполнением всех требований правил монтажа, устройства и безопасной эксплуатации электроустановок. Такими едиными правилами, обязательными для всех отраслей народного хозяйства, являются «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ и ПТБ), введенные в действие с 1 июля 1970 года.

Оперативное обслуживание ЭУ – дежурства, обходы и осмотры ЭУ, оперативные переключения – осуществляется дежурным персоналом и выполняется одним или несколькими лицами. Оперативные переключения выполняются с помощью отключающей аппаратуры по распоряжению или с ведома вышестоящего персонала и только в экстренных случаях (ликвидация аварии, поражение человека электрическим током, пожар, стихийное бедствие) без ведома, но с последующим уведомлением и записью.

Производство работ в ЭУ подразделяется на 4 категории:

- при полном снятии напряжения;
- при частично снятом напряжении;
- без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них с помощью изолирующих электрозащитных средств и приспособлений;
- без снятия напряжения вдали от токоведущих частей.

Для начала ремонтных или наладочных работ выполняются технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работающих.

Технические мероприятия: производство необходимых отключений и принятие мер, исключающих подачу напряжения к месту работы, наложение заземления с помощью штанги.

Организационные мероприятия: оформление наряда или распоряжения на работу, допуск к работе, надзор во время работы, оформление перерывов в работе, окончание работы и т.д.

Электродвигатели и аппараты управления должны быть установлены в соответствии с требованиями ПУЭ и СНиП III -33-76 «Правила производства работ. Электротехнические устройства», предусматривающими мероприятия по безопасности и эксплуатации. Все работы по ремонту, наладке или испытаниям электродвигателей меньше 1000В и более выполняются с отключением ремонтируемого электродвигателя выключателем и разъединителем, на приводы которых вывешивают запрещающий плакат. Если во время ремонта электропривода питающий кабель отсоединяется от зажимов статора, то концы его необходимо замкнуть накоротко и заземлить.

Электросварочные работы следует выполнять, руководствуясь «Правилами техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах». При заземлении сварочных преобразователей должны выполняться следующие требования:

– питание однофазного сварочного трансформатора осуществляется трехжильным гибким шланговым кабелем. Третья жила присоединяется к заземляющему болту корпуса сварочного трансформатора и к заземляющей шине питающего устройства.

– питание трехфазного преобразователя осуществляется четырехжильным кабелем. Четвертая жила используется для заземления. Заземляющая шина питающего устройства соединяется либо с нулевым защитным проводом питающей сети ( в установках с глухозаземленной нейтралью) либо с заземлителем (в установках с изолированной нейтралью);

– зажим (полюс) сварочного преобразователя или трансформатора, присоединяемый к свариваемой детали, соединяются с помощью заземляющего проводника с заземляющим болтом на корпусе сварочного преобразователя (трансформатора);

– не допускается использование нулевого рабочего проводника двухжильного питающего кабеля для заземления.

Помещения для аккумуляторных установок, в которых происходит заряд аккумуляторов при напряжении  $>2,3В$  на элемент, относят к взрывоопасным класса В-1а. Подобные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной

вентиляцией и иметь соответствующее классу электрооборудование.

Конденсаторные установки присоединяют к сети через отдельный аппарат или через общий аппарат с электроприемниками. Безопасность конденсаторных установок регламентируется соответствующими правилами. Корпуса конденсаторов заземляют или зануляют. При размещении конденсаторных установок в общем помещении их ограждают сетчатыми кожухами. Установки должны иметь разрядные устройства, световую сигнализацию, блокировки.

Передвижные ЭУ с точки зрения электробезопасности имеют свои особенности эксплуатации: работают на открытом воздухе, кабельные питающие сети подвержены механическим воздействиям, имеется большое количество контактных соединений и разъемов, не всегда обслуживаются персоналом со специальной электротехнической подготовкой.

К основным мерам защиты при эксплуатации таких установок относят: применение сетей с изолированной нейтралью, постоянный контроль изоляции, защитное заземление, защитное отключение, ограждение токоведущих частей, блокировки.

В сетях и источниках питания с изолированной нейтралью выполняется собственное заземляющее устройство, в сетях с глухозаземленной нейтрально-надежная металлическая связь с нейтралью источника питания (зануление). Заземление или зануление передвижных механизмов осуществляется отдельной жилой в питающем гибком кабеле, причем ее сечение по условиям механической прочности равно сечению фазных жил. Если механизм передвигается по рельсам, они должны быть соединены с заземлением питающего шкафа, на стыках рельсов и между ними приварены перемычки из круглой стали 06 мм или полосовой  $h=4$  мм. Корпус кнопочного аппарата управления должен быть заземлен или занулен не менее чем двумя проводниками или изготовлен из изоляционного материала.

Передвижные электростанции и ТП, а также электроприемники передвижных механизмов, должны иметь заземляющие (зануляющие) устройства, аналогичные устройствам стационарных установок. Те же установки, но на механизме при общей металлической раме не требуют заземления. Для заземления передвижных электроустановок используют инвентарные заземлители (стержень 015 мм  $l=1180, 1500, 2000$  мм и глубиной забивки 580, 900, 1400 м).

Наиболее действенной мерой защиты в передвижных ЭУ взамен защитного заземления (зануления) или в дополнение к нему является защитное отключение (УЗО).

Переносные электроприемники (электроинструмент и светильники) получают питание от сетей напряжением не выше 220 В. Получают питание в зависимости от категории помещения либо от сети, либо через разделяющие и понижающие трансформаторы. Металлические корпуса выше  $\sim 42$  В и  $=110$  В в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружном исполнении должны быть заземлены или занулены. Электроприемники с двойной изоляцией или питающиеся от разделяющих трансформаторов заземления или зануления не требуют.

Электроинструмент по способу защиты человека от поражения электрическим током разделяют на три класса: I, II, III. Напряжение электроинструмента I и II классов не должно превышать  $= 220$  В и  $- 380$  В токов, а III класса – 42 В. С электроинструментом II и III классов разрешается работать без защитных средств, а

при работе с I классом необходимо применять электрические перчатки, галоши, коврики, подстилки. Без защитных средств с электроинструментом I класса разрешается работать в том случае, если питание от разделительного трансформатора, автономной дизель-генераторной установки или в цепи есть УЗО. Для питания электроинструмента в комплект его входит шланговый гибкий провод с заземляющей жилой, свободный конец которой заканчивается заземляющим штырьком длиннее рабочих, чтобы вначале осуществлялось заземление корпуса инструмента.

Ручные электрические машины (РЭМ), как и переносные электроприемники, бывают трех классов: I, II - 220 В, III - 380 В (не более). Согласно правилам техники безопасности, РЭМ запрещается применять во взрывоопасных, химически активной средой разрушающей металл и изоляцию помещениях.

Машины, не защищенные от брызг, не разрешается применять на открытых площадках во время дождя или снегопада. Те же требования по технике безопасности, что и для электроинструмента. РЭМ и их вспомогательное оборудование необходимо перед началом работы проверить внешним осмотром, работой на холостом ходу, измерением сопротивления изоляции (не ниже 0,5Мом), проверить исправность цепи заземления (I класс). Проверка мегомметром не реже одного раза в месяц. Переносные электрические машины следует хранить в сухом помещении на стеллажах, полках или в ящиках.

Напряжение переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных - не выше 42 В, в условиях особой опасности (соприкосновение с большими металлическими заземленными поверхностями, теснота, неудобное положение работающего) - не выше 12 В. В остальных случаях 220/380В, 380/660В и для люминесцентных светильников - 127/ 220 В. Требования техники безопасности те же, как и для РЭМ (ручных электрических машин) в основном.