

В.А. ЗАЛОМОВ

ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПУТЕВЫХ МАШИН И РОБОТОВ.
АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ВЫБОР.
РАСЧЁТ

*Рекомендовано редакционно-издательским
советом университета в качестве методических указаний
к курсовому проекту*

по дисциплинам:
«Спецэлектропривод и автоматика» и «Приводы роботов»

для студентов специальностей: «Подъемно-транспортные,
строительные, дорожные машины и оборудование» и
«Роботы и робототехнические системы»

Москва – 2006

УДК 656.212.6.073.235

3-24

Заломов В.А. Элементы схем управления электроприводов путевых машин и роботов. Аппараты низкого напряжения. Выбор. Расчёт: Методические указания к курсовому проекту. - М: МИИТ, 2006. - 24 с.

Рассмотрены: функциональное назначение, устройство и основные технические характеристики контактных коммутационных электрических аппаратов низкого напряжения.

Обоснован выбор и расчёт параметров с учётом специфики электроприводов путевых машин и роботов.

© Московский государственный
университет путей сообщения
(МИИТ), 2006

Элементы схем электропривода.
Аппараты низкого напряжения.
Общие сведения

Электрическими аппаратами называются:
электротехнические устройства используемые для:

- управления,
- регулирования,
- контроля,
- защиты электрических цепей.

Они подразделяются на аппараты низкого и высокого напряжения. Условно низким считается напряжение до 1000В. Аппараты выпускают более 500 различных наименований, не считая типоразмеров.

Они подразделяются:

1. По назначению, т.е. по функциональным возможностям. Выделим следующие группы аппаратов для:

- управления электрическими цепями: выключатели, кнопки, рубильники, реле, контакторы, пускатели, которые выключают или включают отдельные части или электрическую цепь в целом;
- регулирования параметров электрических цепей: реостаты, резисторы, регуляторы напряжения, автотрансформаторы и т.д.;
- контроля параметров: реле тепловые, скорости, давления и разнообразные измерительные преобразователи (датчики);

- защиты аппаратуры и цепей: автоматические защитные выключатели, предохранители, реле защиты;
- усиления сигналов: полупроводниковые и магнитные усилители;
- распределения электрического тока: разъемы штепсельные, зажимы, токосъемники;
- выполнение логических функций: интегральные схемы, логические элементы, микромодули;
- функций перемещения: электромагниты, электромагнитные тормоза и т.д.

Некоторые аппараты совмещают различные функции. Так же существуют различные способы приведения аппаратов в действие:

- с помощью механизмов;
- ручную;
- с помощью электромагнитного, теплового и других воздействий.

2. По роду тока на аппараты:

- постоянного тока,
- переменного тока промышленной частоты и т.д.

3. По способу замыкания цепи:

- контактные;
- бесконтактные.

Аппараты, в которых прерывание тока осуществляется за счет размыкания контактов (таких большинство), относятся к контактным устройствам.

В бесконтактных устройствах внутреннее сопротивление аппарата может резко изменяться от нуля до бесконечности - это транзисторы, тиристоры, логические элементы и т.д.

Автоматические воздушные выключатели

Автоматические воздушные выключатели - это аппараты, используемые для защиты электрических установок от:

- перегрузок;
- коротких замыканий;
- повышенного и пониженного напряжений;
- токов утечки;
- других аварийных режимов.

Так как дуга при размыкании контактов горит в воздухе аппараты называют воздушными.

При перегрузках электродвигателя, по его обмоткам протекает ток, превышающий номинальный в два-три раза. Однако и при небольших (до 20%), но длительных перегрузках происходит опасный перегрев обмоток. При коротких замыканиях в цепи токи превышают допустимые значения в десятки раз. Но и при понижении напряжения, либо его исчезновении (авария) электродвигатели так же нужно отключить. Т.к. при пониженном напряжении двигатель для создания нужного момента потребляет большой ток - опасный для его работы. При аварии напряжение пропадет и двигатель отключится. После восстановления питающей сети возможен неподконтрольный самозапуск (например, без пусковых реостатов) двигателя. В рассмотренных случаях

применяют, автоматические выключатели, например серии АЕ 1000.

Контактная система автоматов может быть одно- двух- и трехполюсной, в них так же могут быть блокировочные контакты, подобранные на малые токи.

Механизм свободного расцепления входящий в состав автоматов, позволяет осуществлять включение и моментальное отключение контактов. Он так же исключает удержание контактов рукой при включении, если в цепи существует короткое замыкание или другой аварийный режим. Для защиты от малых перегрузок электромагнитный расцепитель, обладающей малой чувствительностью, не годен. Здесь используются более чувствительные тепловые расцепители, но из-за заметной тепловой инерции, они не годны, как защита от коротких замыканий. Принцип действия теплового расцепителя схож с тепловым реле на базе биметаллической пластинки. Автомат активируется с помощью привода: ручного (рычага или кнопки), соленоидного и моторного. Отключается же всегда устройство с помощью пружины. Ток через автомат проходит следующим образом: вводные зажимы - контакты - тепловой расцепитель - катушка электромагнитного расцепителя - выводные зажимы.

Собственное время срабатывания аппарата - это интервал от момента превышения контролируемого параметра (тока, напряжения) до момента разрыва

контактов. А полное время учитывает так же и процесс горения дуги.

По величине собственного времени срабатывания выключатели делятся на:

- нормальные $t_{cp} = 0,02 - 0,1$ с;
- селективные $t_{cp} > 1$ с;
- быстродействующие $t_{cp} < 0,05$ с.

Автоматы подбираются:

- по номинальному току;
- по времени срабатывания.

Чем дальше автомат включен от потребителей, тем больше его номинальный ток и полное время срабатывания.

Контакторы

Контакторы - это низковольтные устройства для дистанционного оперативного управления приемниками электрической энергии. Оперативное управление - это включение, выключение или переключение в цепи электродвигателей при нормальной безаварийной работе. Конструкция контактора схожа с конструкцией электромагнитного реле. Он состоит из сердечника, якоря, катушки управления, главных контактов и дугогасительного устройства.

По роду тока в катушке и магнитной системе управления контакторы делятся на приборы:

- постоянного тока;
- переменного тока.

По числу контактов они бывают одно- двух- и трехполюсные.

По виду движения якоря могут быть:

- поступательные (прямоходовая магнитная система);
- вращательные (клапанная).

В контакторах переменного тока условия гашения дуги лучше, т.к. при прохождении тока через нуль дуга гаснет и, если контакты уже успели разойтись, вновь не загорается. Последнее позволяет отказаться от дугогасительной катушки, хотя с другой стороны, на переменном токе усиливается вибрация якоря, т.к. ток в цепи меняет направление очень быстро (100 раз в секунду) и якорь не успевает отойти от сердечника. Описанное вызывает шум, электрический износ контактов и механических креплений.

Магнитные пускатели

Магнитные пускатели используются для оперативного управления и защиты от перегрузок приемников электрической энергии, в частности асинхронных двигателей. В одном металлическом корпусе разместились контактор и тепловое реле. Кнопочный пост управления расположен в удобном для оператора месте. А

сам пускатель размещается, возможно, ближе к двигателю. На его крышке выведена кнопка для возврата теплового реле в исходное состояние.

Тепловое реле содержит нагревательный элемент, подключаемый в две или три фазы электродвигателя и размыкающие контакты, соединенные с катушкой управления контактора. При перегрузке цепи биметаллические пластины нагреваются, изгибаются и размыкают контакты теплового реле. Катушка обесточивается и контактор «отпускается», т. е. его контакты отключают статор электродвигателя от сети.

Магнитные пускатели бывают:

- нереверсивные;
- реверсивные.

При включении первого двигатель вращается в одну сторону, при включении другого - в обратную. Устройство должно исключать возможность срабатывания двух контактов одновременно, что закончилось бы замыканием двух фаз. Во избежание коротких замыканий при ошибочном включении используется механическая блокировка. Сейчас широко используются пускатели типа ПМА, ПМЕ, ПАЕ.

Электромагнитные реле

Электромагнитные реле это устройства, используемые для коммутации слаботочных цепей управления, в частности, электроприводом, в зависимости от электрического сигнала, поступившего на его катушку. Они могут применяться в качестве:

- датчиков токов и напряжений;
- промежуточных элементов для передачи команд из одной цепи в другую;
- устройств размножения сигналов;
- датчиков времени;
- выходных элементов различных датчиков обобщённых координат электропривода;
- датчиков технологических параметров машин и механизмов.

Действие реле аналогично контактору. На сердечнике его магнитной системы имеется катушка для приема управляющего электрического сигнала. Когда напряжение (ток) в цепи катушки превалирует над определенной величиной - параметром срабатывания реле - электромагнитная сила катушки окажется больше противодействия возвратной пружины.

В результате якорь реле «прилипнет» к сердечнику и траверса, поднявшись, осуществит размыкание и/или замыкание контактов. При снижении

напряжения (тока) в катушке якорь под нажимом пружины вернется в исходное состояние, так же как и контактная система. Данные величины напряжения (тока) называются напряжениями (токами) возврата (отпускания) реле.

Величины срабатывания реле можно изменять в небольших пределах вариациями натяжения возвратной пружины с помощью гайки.

Контакты реле имеют простую конструкцию без дугогашения, т.к. коммутируют небольшие (5... 10 А) токи.

Время от момента подачи сигнала, до момента замыкания контактов есть время срабатывания t_{cp}

Оно зависит от:

- скорости нарастания магнитного потока в сердечнике;
- времени движения якоря;
- расстояния между контактами;
- массы подвижной системы;
- силы притяжения.

По времени срабатывания реле делятся на:

- безинерционные $t_{cp} \leq 0,001c$;
- быстродействующие $0,001 \leq t_{cp} \leq 0,25c$;
- реле времени t_{cp} - регулируется.

Ресурс реле составляет несколько миллионов циклов срабатывания. Так, например, реле постоянного тока серии

РЭВ800 используются в качестве реле тока, напряжения, промежуточных и реле времени, а серии РЭВ - 310 - как реле тока и напряжения. Они имеют катушки на напряжение от 12;10;220 В и от одного до четырех контактов.

Промежуточные реле работают как на переменном так и на постоянном токе, включаются в сеть параллельно и служат для усиления и размножения сигналов, для чего оснащаются большим количеством контактов.

Это реле серий РП - 250, РП - 321, РП - 341, РП - 42. Их используют так же как реле времени.

В свою очередь, герконовые реле для повышения износостойкости и надёжности имеют герметизированные контакты. У простейшего геркона внутри стеклянной герметизированной капсулы, наполненной инертным газом, имеются неподвижный и подвижный контакты, выполненные из сплава железа с никелем. Капсула охвачена магнитоприводом, на части которого закреплена катушка.

При подаче постоянного тока создается магнитный поток, под воздействием которого, подвижный и не подвижный контакты замкнут коммутируемую цепь.

Износостойкость реле с герконом, способных коммутировать токи до 5 А при напряжении до 100 В, достигает нескольких десятков миллионов срабатываний.

Реле серии РЭС 42, РЭС 43, РЭС 44, РЭС 55 на базе герконов типа КЭМ коммутируют токи до 1 А при напряжении до 220 В.

В качестве промежуточных герконовых реле выбирается серия РПГ - 4.

Реле времени применяется для увеличения времени срабатывания или отпускания. Выдержка времени создается различными механизмами:

- электромагнитным замедлителем (гильзой);
- часовым механизмом;
- полупроводниковой схемой.

Реле с электромагнитным заземлением работает только на постоянном токе. Здесь короткозамкнутый виток (гильза) является магнитным демпфером, т.к. создает поток встречный основному потоку катушками. Принцип действия: чем меньше сопротивление гильзы, тем больше время выдержки.

Тепловое реле - это устройство, коммутирующее - электрическую цепь в зависимости от температуры чувствительного органа. Чаще последний - это биметаллическая пластина, состоящая из двух сваренных между собой пластин, имеющих различный коэффициент теплового расширения. Пластина нагревается под действием тока, протекающего по ней или по специальному нагревателю. При росте температуры биметаллическая пластина изгибается, так как одна ее сторона удлиняется больше и в результате нажимает на упор, заставляя последний размыкать или замыкать контакты.

Для приведения системы в исходное состояние используют механизмы с самовозвратом или с ручным

воздействием на защёлку для возможности устранения неисправности.

Тепловые реле серии ТРН широко применяются в магнитных пускателях.

Предохранители

Предохранители - это устройства, используемые для защиты электрических цепей от:

- коротких замыканий;
- больших перегрузок.

Они бывают:

- разборными типа ПР-2;
- неразборными типа НР-2.

Вставляется предохранитель в контактные стойки и имеют корпус цилиндрической формы с круглым или квадратным основанием из изоляционного материала: стекла, фибры, фарфора. Внутри корпуса расположена плавкая вставка из серебра, меди, цинка или константана. Она рассчитана на номинальный (длительный) ток, при превышении которого на 30%, вставка перегорает со скоростью прямопропорциональной скорости нарастания тока.

Для скорейшего перегорания вставки в аварийном режиме используют:

- металлургический эффект - наносят на медную плавкую вставку шарик из олова, что способствует большому точечному нагреву и перегоранию вставки;

- фигурную вставку с сужениями (шейками) для скорейшего расплавления (концентраторы напряжений).

Но на корпусе предохранителя указывается не только величина номинального тока, но и номинальное напряжение. От последнего параметра зависит величина расстояния между контактами внутри предохранителя. В противном случае, если даже дуга (между контактами) погаснет при прохождении тока через нуль, то малый дуговой промежуток может быть пробит вновь с приходом следующей волны напряжения. Не смотря на то, что во время пуска электродвигателя в цепи протекает очень большой ток (в начальный момент номинал превышает в десятки раз), вставка не должна перегорать. Далее по мере разгона двигателя ток быстро убывает, да и длительность пуска достигает нескольких долей секунд. Поэтому в среднем принимают пусковой ток в шесть - семь раз превышающим номинальный. И здесь фигурная вставка сохраняется, т.к. тепло из узких мест перераспределяется в широкие.

Так же большое значение имеет селективная защита. Это когда при коротком замыкании на потребителе должен перегорать ближний к нему предохранитель. Остальные же остаются под напряжением. В свою очередь, при неправильном выборе предохранителей может перегореть групповой, объединяющий несколько потребителей, и все потребители будут обесточены.

Рубильники

Рубильник - это аппарат ручного действия, с рубящим типом контактов. Он используется для включения или отключения электрической цепи.

Устройства бывают одно- двух- или трехполюсные и характеризуются номинальным током, т.е. длительно допустимым током в замкнутом состоянии контактов. При отсутствии дугогасительного устройства рубильники используются лишь для дублирования предварительного размыкания цепи, т.к. повышают безопасность обслуживания, делая разрыв цепи видимым.

Аппараты характеризуются механической износостойкостью - ресурс до 10 тысяч циклов. Электрическая износостойкость в 2 раза меньше и ограничена подгоранием и износом контактов. Рубильники просты конструктивно, надежны, но имеют относительно большие габариты.

Кнопки управления

Кнопки - это приборы ручного воздействия с поступательно движущейся головкой, используемые для управления электромагнитными аппаратами.

При снятии пальца с головки, контакты кнопки возвращаются в исходное состояние. Встречаются так же кнопки самоудерживающиеся в нажатом состоянии. Такое

залипание контактов происходит с помощью защёлки. А для возврата в исходное состояние требуется вторичное нажатие на кнопку. В свою очередь, в некоторых кнопках залипание осуществляется под действием магнитов.

Кнопочный пост управления включает в себя несколько кнопочных элементов, объединенных в одном корпусе. ГОСТ позволяет осуществлять несколько команд: пуск, рабочий режим, останов. Кнопки функционируют в цепях постоянного и переменного тока, напряжением до 500 В. Их отключающая способность до 100 Вт постоянного и 1500В* А переменного тока. Так же некоторые кнопки выдерживают кратковременный ток до 60 А, который возникает при коммутации контактов.

Выбор и расчёт элементов электропривода и систем управления.

Выбор автоматических воздушных выключателей

Автомат для защиты асинхронного двигателя выбирают по номинальным значениям тока и напряжения с учётом следующих условий:

$$\begin{aligned} I_{\text{н.а.}} &\geq I_{\text{н.д.}} , \\ U_{\text{н.а.}} &\geq U_{\text{н.д.}} , \end{aligned}$$

где: $I_{н.а.}, U_{н.а.}$ - номинальное значение токов и напряжений автоматического выключателя;

$I_{н.д.}, U_{н.д.}$ - номинальное значение токов и напряжений асинхронного двигателя.

При использовании электромагнитного расцепителя его номинальный ток должен быть не меньше номинального тока двигателя:

$$I_{н.р.} \geq I_{н.д.}$$

где: $I_{н.р.}$ - номинальное значение тока электромагнитного расцепителя.

Электромагнитный элемент комбинированного расцепителя, как и электромагнитный расцепитель, защищают асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором от короткого замыкания в сети.

Ток уставки электромагнитного элемента с учётом неточности срабатывания расцепителя и разбросом значений действительного пускового тока двигателя от справочных величин выбирается из условий:

$$I_{у.э.м.} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{п.},$$

где: $I_{у.э.м.}$ - величина тока уставки расцепителя;

$I_{п.}$ - величина пускового тока асинхронного двигателя.

Для двигателей с фазным ротором:

$$I_{\text{ó.ý.ì.}} \geq (2,5 \dots 3) I_{\text{í.ä.}}$$

Для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором:

$$I_{\text{у.э.м.}} \geq (1,5 \dots 1,8) \left[\sum I_{\text{н.д.}} + (I_{\text{п.}} - I_{\text{н.д.м.}}) \right];$$

где: $I_{\text{н.д.м.}}$ - номинальное значение тока двигателя максимальной мощности.

Для группы двигателей с фазным ротором:

$$I_{\text{у.э.м.}} \geq (1,5 \dots 2) I_{\text{н.д.м.}} + \sum I_{\text{н.д.}}$$

Тепловая защита двигателя от перегрузок обеспечивается автоматом с тепловыми расцепителями (реле).

Выбор нагревательного элемента электротеплового реле ведём по номинальной мощности двигателя $P_{\text{р.д.}}$

или

по току нагревательного элемента. Последний зависит от номинального тока двигателя и температуры окружающей среды.

$$I_{\text{н.э.}} = \frac{I_{\text{н.д.}}}{\sqrt{1,6-0,17\tau}},$$

где: $I_{\text{н.э.}}$ - величина тока нагревательного элемента;

τ - значение температуры окружающей среды.

Для двигателей с продолжительным режимом работы и легкими условиями пуска номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя:

$$I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.д.}},$$

где: $I_{\text{т.р.}}$ - номинальное значение тока теплового или комбинированного расцепителя.

Для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, функционирующих в напряжённом повторно-кратковременном режиме работы или для двигателей с продолжительным режимом работы и с тяжёлыми условиями пуска выбирается номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя из следующих условий:

$$I_{\text{т.р.}} \geq 1,5 I_{\text{н.д.}}$$

Как правило, автоматический выключатель калибруется при температуре равной 25 С. Если температура окружающей среды при эксплуатации отличается от 25 С, то номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя определяется из условий:

$$I_{\text{т.р.}} \geq \frac{I_{\text{н.д.}}}{\alpha}, \quad \text{или}$$

$$I_{\text{т.р.}} \geq \frac{1,5 I_{\text{н.д.}}}{\alpha};$$

где: α - температурный коэффициент равный:

$$\alpha = [1 + 0,006(25 - \tau)].$$

Для надёжного и своевременного срабатывания автомата необходимо, чтобы при коротком замыкании в сети в конце защищаемого участка соблюдалось требуемая кратность тока короткого замыкания к току электромагнитного расцепителя.

В соответствии с правилами устройства электроустановок кратность тока короткого замыкания должна отвечать следующим условиям:

- для автоматов с электромагнитным расцепителем:

$$\frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{у.э.м.}}} \geq 1,25 \dots 1,4;$$

где: $I_{\text{к.з.}}$ - величина тока короткого замыкания для автоматов с электромагнитным расцепителем;

- для автоматов с комбинированным расцепителем и для плавких вставок предохранителей:

$$\frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{у.э.м.}}} \geq 3,0 \dots 4,0.$$

Уточняющий расчёт кратности тока короткого замыкания осуществляется для следующих вариантов электросхем:

- для двухфазного короткого замыкания для сети с изолированной нейтралью. Величина тока определяется выражением:

$$I_{2 \text{ к.з.}} = \frac{U_{\text{н.с.}}}{2Z_{\phi}},$$

где: Z_{ϕ} - полное сопротивление цепи тока короткого замыкания фазы.

- для однофазного короткого замыкания на землю для сети с заземлённой нейтралью. Величина тока определяется зависимостью:

$$I_{1 \text{ к.з.}} = \frac{U_{\text{н.с.}}}{\sqrt{3}Z_{\phi-0}},$$

где: $Z_{\phi-0}$ - полное сопротивление цепи тока короткого замыкания для петли фаза-ноль.

Для проверки плавких предохранителей по отключающей способности определяем ток трёхфазного короткого замыкания в месте расположения предохранителей:

$$I_{3 \text{ к.з.}} = \frac{U_{\text{н.с.}}}{\sqrt{3} Z_{\phi}} ;$$

Выбор установок реле и максимально-токовых расцепителей выключателей для схем управления проводим из условия:

$$I_{\phi} = 2,5 I_{\phi \Sigma} ;$$

где: $I_{\text{у.}}$ - величина тока уставки реле выключателя;

$I_{\text{Уп}\Sigma}$ - суммарная величина токов схемы управления.

Часто тепловую защиту используют для обеспечения защиты асинхронных двигателей от перегрузок и при работе на двух фазах. В этих схемах ток уставки теплового реле выключателя выбираем из условия:

$$I_{2\phi} > I_{\phi} > I_{3\phi} ;$$

где: $I_{2\phi}, I_{3\phi}$ - величина тока асинхронного двигателя

соответственно при работе на двух и трёх фазах.

Учебно-методическое издание

Заломов Виктор Анатольевич

ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПУТЕВЫХ МАШИН И РОБОТОВ.
АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. ВЫБОР.
РАСЧЁТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к курсовому проекту

Подписано в печать-*28.12.06*. Формат 60x84 1/16
Тираж 100 экз. Усл.-печ.л.- *1,5*.
Заказ № *631*. Изд.№ *172-06*

127994, Москва, ул. Образцова, 15.
Типография МИИТа