

§ 21. ВИДЫ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА

В условиях открытых горных работ применяют два основных вида защиты: электроустановок и обслуживающего персонала.

Защите подлежат электродвигатели, генераторы, трансформаторы, кабельные и воздушные сети. Ее выполняют для предохранения от чрезмерного повышения тока или сравнительно небольших (но недопустимо длительных) токов перегрузки, от значительных колебаний напряжения.

Цель защиты обслуживающего персонала — исключить поражение его электрическим током.

В зависимости от вида повреждения и ненормального режима работы в электроустановках устанавливают защиты:

максимальную токовую — от чрезмерного повышения тока (от коротких замыканий);

от перегрузки (тепловую) — от перегрева токоведущих частей под действием токов величиной выше номинальной;

минимальную, или от потери питания — от снижения напряжения в сети ниже допустимой величины и от прекращения питания.

Максимальная токовая защита

Максимальную токовую защиту выполняют с помощью плавких предохранителей или максимальных реле тока.

Плавкий предохранитель — наиболее простой и дешевый коммутационный аппарат, отключающий защищаемую цепь при расплавлении (перегорании) в нем специального проводника (вставки) в момент протекания тока, превышающего определенную величину.

Предохранители изготавливают с наполнителем и без наполнителя, разборные и неразборные, трубчатые и установочные с винтовой резьбой, однократного и многократного действия и т. д.

В электроустановках напряжением до 1000 В наибольшее распространение получили предохранители типов ПР (разборный без наполнителя), НПН (насыпной неразборный), ПН (насыпной разборный). Предохранители типов ПН и НПН наполнены мелкозернистым кварцевым песком.

Предохранители характеризуются следующими параметрами: номинальный ток предохранителя $I_{ном,пр}$; номинальный ток плавкой вставки $I_{ном,в}$; предельный отключаемый ток $I_{пред,откл}$; номинальное напряжение предохранителя $U_{ном,пр}$.

Предохранители основных типов выпускаются на токи 15—1000 А с предельными отключаемыми токами при напряжении 380 В в диапазоне 4,5—110 кА.

Вставка расплавляется (перегорает) при значении тока больше номинального. При этом время плавления зависит от

значения тока, проходящего через вставку, или от его кратности по отношению к номинальному:

Отношение значения тока расплавления к номинальному	1,25	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0
Время расплавления, с	—	3600	1200	40	8	4,5	2,5

Из приведенных данных видно, что плавкая вставка предохранителя при токе более номинального в 1,25 раза не перегорает, а более 1,6 раза перегорает только через 1 ч. Двигатель же допускает перегрузку в 1,5 раза в течение не более 2 мин. Следовательно, плавкие предохранители защищают электроустановки только от токов короткого замыкания (сверхтоков) и не защищают их от небольших, но длительных перегрузок.

Номинальное напряжение предохранителей и их вставок должно соответствовать номинальному напряжению сети

$$U_{ном,пр} = U_{ном,в} = U_{ном,с} \quad (3.1)$$

Предельно отключаемый ток плавкой вставки, т. е. ток, который предохранитель способен разорвать (отключить), должен быть равен или больше максимального расчетного тока к. з., проходящего через защищаемый предохранителем участок.

Номинальный ток плавкой вставки $I_{ном,в}$ выбирают в зависимости от характера нагрузки. Так, для плавких вставок предохранителей, применяемых для защиты электродвигателей, их выбирают таким образом, чтобы электродвигатели не отключались при нормальных для данной электроустановки токах (пусковых токах, токах самозапуска и т. п.), но надежно отключались бы при коротком замыкании на их выводах.

Для одиночных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором ток плавкой вставки определяют по формуле

$$I_{ном,в} \geq I_{ном,пуск} / k_{отс} \quad (3.2)$$

где $I_{ном,пуск}$ — номинальный пусковой ток двигателя, А; $k_{отс}$ — коэффициент отстройки от пускового тока. Для легких, т. е. редких с малой ($\approx 2-3$ с) длительностью разгона условий пуска значение этого коэффициента принимают равным $\approx 2,5$, а для тяжелых, т. е. частых с большой (≈ 10 с) длительностью разгона от —1,6 до 2.

При частых пусках электродвигателей с легкими условиями пуска выбор плавкой вставки производят по коэффициенту для тяжелых условий.

Выбранное по условию (3.2) значение номинального тока плавкой вставки принимают ближайшим большим по шкале стандартных номинальных токов (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Номинальные токи предохранителей и плавких вставок

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя (патрона), А	Номинальный ток плавкой вставки, А
НПН-15	15	6, 10, 15
НПН-60М	60	15, 20, 25, 35, 45, 60
ПН-2	100	30, 40, 50, 60, 80, 100
	250	80, 100, 120, 150, 200, 250
	400	200, 250, 300, 350, 400
	600	300, 400, 500, 600
	1000	500, 600, 750, 800, 1000
ПР-2	15	6, 10, 15
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60
	100	60, 80, 100
	350	200, 225, 260, 300, 350
	600	350, 430, 500, 600
	1000	600, 700, 850, 1000

Для двигателей с фазным ротором постоянного тока и осветительных нагрузок номинальный ток плавкой вставки (А) определяют по формуле

$$I_{\text{ном, в}} = (1 \div 1,25) I_{\text{ном, дв}} \quad (3.3)$$

Если предохранители используют для защиты нескольких электроприемников, то ток плавкой вставки определяют по выражению

$$I_{\text{ном, в}} = I_{\text{ном, пуск}} / (1,6 \div 2,5) + \Sigma I_{\text{ном, ост}} \quad (3.4)$$

где $I_{\text{ном, пуск}}$ — номинальный пусковой ток наиболее мощного двигателя; $\Sigma I_{\text{ном, ост}}$ — суммарный номинальный ток всех остальных электроприемников, питаемых от магистрального кабеля, А.

Для обеспечения надежной защиты электродвигателей выбранная плавкая вставка должна удовлетворять условию

$$I_{\text{к}} / I_{\text{ном, в}} > k, \quad (3.5)$$

где $I_{\text{к}}$ — минимальный ток двухфазного или однофазного к. з. в конце защищаемого участка сети, при котором обеспечивается надежное и своевременное перегорание плавкой вставки; k — кратность тока к. з. по отношению к номинальному току плавкой вставки.

Значение кратности k принимается не менее: 3 — для однофазного тока к. з. в сетях с заземленной нейтралью и двухфазного к. з. в сетях с изолированной нейтралью; от 4 до 7 — в рудничных сетях; от 10 до 15 — в сетях, где последовательно

с предохранителями установлены контакторы или магнитные пускатели.

Благодаря таким качествам плавких предохранителей, как простота конструкции, малая стоимость и надежность в работе их широко применяют в электрических сетях и электроустановках.

Однако предохранители имеют и недостатки, которые ограничивают область их применения:

нестабильность и значительный разброс время-токовых защитных характеристик; возможность работы электродвигателя на двух фазах при перегорании одного предохранителя, что вызывает недопустимую перегрузку по току и, следовательно, повреждение электродвигателя;

значительные затраты времени, особенно в условиях открытых горных работ, на смену предохранителей и связанные с этим простои оборудования;

возможность ошибочной установки плавкой вставки или патрона с нестандартным (несоответствующим) сечением;

недостаточная чувствительность к токам перегрузки.

Пример 3.1. Выбрать плавкие предохранители для защиты асинхронного двигателя с к. з. ротором и следующими параметрами: $P_{\text{ном}} = 15$ кВт; напряжение сети $U_{\text{ном}} = 380$ В, к. п. д. двигателя $\eta_{\text{ном, дв}} = 0,89$; $\cos \varphi_{\text{ном, дв}} = 0,85$; кратность пускового тока $I_{\text{ном, пуск}} / I_{\text{ном}} = 5,5$; величина тока при двухфазном к. з. на выводах двигателя $I_{\text{к}}^2 = 900$ А; условия пуска легкие.

Решение.

1. Определяем номинальный ток двигателя

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} 1000}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном, дв}} \eta_{\text{ном, дв}}} = \frac{15 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,89} = \frac{15 000}{497} = 30,2 \text{ А.}$$

2. Определяем номинальный пусковой ток двигателя

$$I_{\text{ном, пуск}} = 5,5 I_{\text{ном}} = 5,5 \cdot 30,2 = 166 \text{ А.}$$

3. Определяем ток плавкой вставки

$$I_{\text{ном, в}} = \frac{I_{\text{ном, пуск}}}{2,5} = \frac{166}{2,5} = 66,5 \text{ А.}$$

4. Принимаем предохранители ПН-2-100 на 100 А со стандартной плавкой вставкой $I_{\text{ном, в}} = 80$ А (см. табл. 3.1) и предельно отключаемым током 100 кА (при $U = 380$ В).

5. Выбранную плавкую вставку проверяем на надежность защиты двигателя при коротком замыкании:

$$I_{\text{ном, в}} \leq I_{\text{к}}^2 / 7 = 900 / 7 \approx 130.$$

Так как $80 < 130$, рассчитанная плавкая вставка удовлетворяет заданному условию.

Наряду с предохранителями большое распространение в сетях напряжением до 1000 В для защиты от к. з. и перегрузки получили автоматические выключатели (автоматы) с встроенными в них различными реле защиты прямого действия — рас-

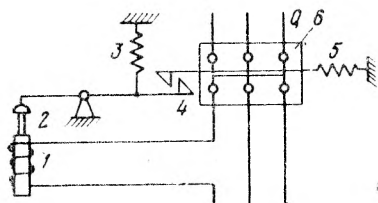


Рис. 3.1. Схема максимального реле тока

цепителями (электромагнитными, тепловыми и минимального напряжения).

Принцип действия электромагнитного расцепителя (реле) показан на рис. 3.1. Расцепитель состоит из катушки 1 с сердечником (электромагнитом), включенной последовательно в силовую цепь, и стального якоря 2.

При возникновении к. з. якорь мгновенно притягивается к электромагниту и освобождает защелку 4 механизма отключения выключателя, который под действием пружины 5 и посредством выключателя 6 отключает поврежденный участок сети от источника питания.

Значение тока, при котором реле должно срабатывать, называется уставкой. Ее настройка производится изменением величины натяжения пружины 3, связанной с якорем 2.

Уставку по току I_y (А) максимального реле автоматических выключателей, которые защищают магистраль, питающую электродвигатели с короткозамкнутым ротором, определяют по формуле

$$I_y \geq (1,8 \div 2) (I_{\text{ном,пуск}} + \Sigma I_{\text{ном,ост}}), \quad (3.6)$$

где $I_{\text{ном,пуск}}$ — номинальный пусковой ток наиболее мощного электродвигателя, А; $\Sigma I_{\text{ном,ост}}$ — сумма номинальных токов всех остальных потребителей, питающихся от данной магистрали, А.

При выборе токовой уставки для защиты одиночного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором часть формулы (3.6) $\Sigma I_{\text{ном,ост}}$ не используют.

Ток уставки электромагнитного расцепителя для защиты двигателей с фазным ротором находят по условию

$$I_y \geq (2,5 \div 3) I_{\text{ном,дв}}. \quad (3.7)$$

Чувствительность защиты обеспечивается, если кратность тока к. з. будет не менее 1,5:

$$I_k^{(2)}/I_y \geq 1,5, \quad (3.8)$$

где I_k — расчетный ток двухфазного к. з. в конце защищаемой цепи, А.

Чувствительность электромагнитных расцепителей, установленных в сетях с заземленной нейтралью, проверяют по току двухфазного и однофазного к. з.

Преимущества автоматических выключателей перед плавкими вставками — одновременность отключения всех трех фаз;

постоянная готовность для последующего включения после отключения защищаемой цепи; возможность регулирования тока уставки расцепителя.

Защита от перегрузки

Защиту электродвигателей от длительно действующей недопустимой перегрузки выполняют с помощью токовых или электротепловых реле, реагирующих на количество теплоты, выделяемой в их нагревательных элементах при прохождении тока, либо на повышение температуры обмоток или других частей электродвигателей. Электротепловые реле встраивают в аппараты управления (магнитные пускатели, автоматы) или непосредственно в корпус электродвигателя. Основной рабочей элемент электротеплового реле — биметаллическая пластинка, выполненная из двух металлов с различными коэффициентами линейного расширения. При повышении температуры пластинка изгибается в сторону металла, имеющего меньший температурный коэффициент расширения. В результате этого происходит размыкание контактов реле и отключение автоматического выключателя. Электротепловые реле настраивают таким образом, чтобы они не срабатывали от пусковых токов и токов самозапуска двигателей.

Время срабатывания электротеплового реле определяют по защитной характеристике (рис. 3.2). Оно тем меньше, чем больше перегрузка двигателя. При семикратной перегрузке электротепловое реле срабатывает через 10 с, при трехкратной — через 35 с, а при токе $1,5 I_{\text{ном}}$ — через 3 мин.

Ток уставки электротеплового реле (расцепителя) $I_{y,расц}$ вычисляют по выражению

$$I_{y,расц} = k_p k_{\text{над}} I_{\text{ном}}, \quad (3.9)$$

где k_p — коэффициент разброса срабатывания электротепловых реле, равный 1,1; $k_{\text{над}}$ — коэффициент надежности; принимается равным 1,1—1,3 для цепей, в которых возможны перегрузки (например, при пуске электродвигателей); $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток цепи, А.

Основной недостаток защиты от перегрузки, реагирующей на повышение температуры двигателей, заключается в том, что она может отключать двигатели при вполне допустимых (по условиям износа изоляции) перегрузках.

Защиту электродвигателей от к. з. следует предусматривать во всех фазах, за исключением электроустановок с изолированной нейтралью, в которых при применении автоматических выключателей защита может быть выполнена в двух фазах.

Защиту электродвигателей переменного тока от перегрузки следует выполнять в двух фазах при защите электродвигателей

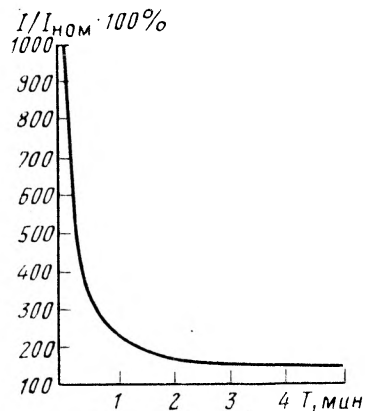


Рис. 3.2. Защитная характеристика электротеплового реле

различия тепловых характеристик двигателя и реле. Поэтому наиболее надежной защитой электроустановок от перегрева считается температурное реле, которое встраивают внутрь двигателя и прикрепляют к лобовым частям обмотки. Это, например, реле типа ДТР, разработанное ВНИИВЭ. Оно реагирует не только на температуру обмотки двигателя, но и на скорость ее нарастания. Вследствие этого при небольших перегрузках реле ДТР срабатывает сравнительно медленно, а при затянувшихся пусковых токах — быстро.

Реле ДТР состоит из пластмассового корпуса, теплопроводящей медной крышки, непосредственно прилегающей к обмотке двигателя, термобиметаллических пластин, контактов, укрепленных на контактной пластине, и изоляционной прокладки. Регулировку реле производят специальными винтами.

Контакты реле включаются последовательно в цепь дистанционного управления магнитными пускателями, а также в цепи звуковой или световой сигнализации.

Через 2—10 мин после отключения пускателя (в зависимости от конструкции двигателя) изоляция обмоток охлаждается до допустимой температуры, контакты реле вновь автоматически замыкаются и двигатель включается.

Защита от минимального напряжения

В электрических сетях, питающих электродвигатели карьерных установок, величина напряжения колеблется в значительных пределах. Уменьшение напряжения на выводах асинхронных двигателей ведет к резкому снижению вращающего момента ($M_{вр} \equiv U^2$), повышению рабочего тока и недопустимому пере-

от к.з. предохранителями и в одной фазе при защите электродвигателей от к.з. автоматическими выключателями.

Электротепловые реле защищают двигатели от недопустимого перегрева только тогда, когда температура воздуха, окружающего реле и двигатель, одинакова и когда двигатель работает в длительном режиме.

В других случаях (например, при работе двигателя в повторно-кратковременном режиме) электротепловые реле не обеспечивают эффективную защиту двигателя от опасных перегрузок из-за большого

греву двигателей. Кроме того, снижение напряжения может вызвать остановку асинхронного двигателя, при которой по обмоткам двигателя будут проходить токи, значительно превышающие номинальные (пусковые).

Исчезновение или длительное снижение напряжения возможно вследствие кратковременного отключения источника питания или к.з.

При последующем восстановлении напряжения в сети происходит самозапуск двигателей, т. е. их разворот с увеличенным частоты вращения до нормальной.

Самозапуску подлежат двигатели наиболее ответственных механизмов. На электродвигателях, не подлежащих самозапуску, например по условиям техники безопасности или по технологическим причинам, должна быть установлена защита минимального напряжения с действием на отключение. Отключение двигателей неотвечественных механизмов защитой приводит к уменьшению суммарного тока самозапуска и повышению напряжения на выводах двигателей. При этом обеспечивается самозапуск двигателей ответственных механизмов с выдержкой времени 0,5—1 с и электродвигателей, отключаемых по условиям технологического процесса или техники безопасности, с выдержкой времени 5—10 с.

Защита минимального напряжения отключает установку от сети при уменьшении напряжения до 60—70% номинального.

Для электродвигателей напряжением до 1000 В защиту минимального напряжения выполняют с помощью контактора, удерживающая обмотка которого подключена к силовой цепи. Защита отключает электродвигатель при понижении напряжения до 30—40% номинального.

Принцип действия защиты минимального напряжения показан на рис. 3.3. При нормальном напряжении сети ток, протекающий по катушке (обмотке) *K*, удерживает якорь *Я* в притянутом положении. Снижение или исчезновение напряжения в питающей сети вызывает уменьшение величины тока и намагничивающей силы катушки *K*; якорь *Я* под действием веса и силы регулировочной пружины *Пр1* отпадает, освобождая защелку *З*; аппарат под действием пружины *Пр2* отключает электродвигатель от сети. После восстановления напряжения в сети аппарат остается в отключенном положении. Самозапуск электродвигателя исключается.

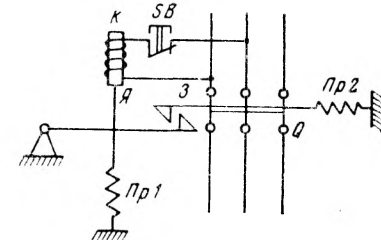


Рис. 3.3. Схема минимального (нулевого) реле напряжения