

Электрические аппараты защиты трёхфазных асинхронных электродвигателей

Асинхронные двигатели трехфазного переменного тока напряжением до 500 в при мощностях от 0,05 до 350 - 400 кВт являются наиболее распространенным видом электродвигателей.

Аварийные режимы работы электродвигателей

- 1) **многофазные (трех- и двухфазные) и однофазные короткие замыкания** в обмотках электродвигателя;
 - многофазные короткие замыкания в выводной коробке электродвигателя и во внешней силовой цепи (в проводах и кабелях, на контактах коммутационных аппаратов, в ящиках сопротивлений);
 - короткие замыкания фазы на корпус или нулевой провод внутри двигателя или во внешней цепи — в сетях с заземленной нейтралью;
 - короткие замыкания в цепи управления;
 - короткие замыкания между витками обмотки двигателя (витковые замыкания).

Короткие замыкания являются наиболее опасными аварийными режимами в электроустановках.

В большинстве случаев они возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции. Токи короткого замыкания иногда достигают величин, в десятки и сотни раз превосходящих значения токов нормального режима, а их тепловое воздействие и динамические усилия, которым подвергаются токоведущие части, могут привести к повреждению всей электроустановки;

- 2) **тепловые перегрузки электродвигателя** из-за прохождения по его обмоткам повышенных токов:
 - при перегрузках рабочего механизма по технологическим причинам,
 - особо тяжелых условиях пуска двигателя под нагрузкой или его застопоривании,
 - длительном понижении напряжения сети,
 - выпадении одной из фаз внешней силовой цепи или обрыве провода в обмотке двигателя,
 - механических повреждениях в двигателе или рабочем механизме, а также тепловые перегрузки при ухудшении условий охлаждения двигателя.

Тепловые перегрузки вызывают в первую очередь **ускоренное старение и разрушение изоляции двигателя**, что приводит к коротким замыканиям, т. е. к серьезной аварии и преждевременному выходу двигателя из строя.



Как изменяются параметры трехфазного асинхронного двигателя при условиях, отличных от номинальных?

Понижение напряжения при номинальной частоте приводит к уменьшению тока холостого хода и магнитного потока, а значит, и к уменьшению потерь в стали. Величина тока статора, как правило, повышается, коэффициент мощности увеличивается, скольжение возрастает, а к. п. д. несколько падает. Вращающий момент двигателя уменьшается, так как он пропорционален квадрату напряжения.

При повышении напряжения сверх номинального и номинальной частоте двигатель перегревается из-за увеличения потерь в стали. Вращающий момент двигателя растет, величина скольжения уменьшается. Ток холостого хода увеличивается, а коэффициент мощности ухудшается. Ток статора при полной нагрузке может уменьшиться, а при малой нагрузке может увеличиться вследствие увеличения тока холостого хода.

При уменьшении частоты и номинальном напряжении увеличивается ток холостого хода, что приводит к ухудшению коэффициента мощности. Ток статора обычно возрастает. Увеличиваются потери в меди и стали статора, охлаждение двигателя несколько ухудшается вследствие уменьшения частоты вращения.

При повышении частоты сети и номинальном напряжении уменьшается ток холостого хода и вращающий момент.



Влияние длительных превышений тока на изоляцию

С точки зрения влияния длительных превышений тока на изоляцию следует различать два вида перегрузок по величине: сравнительно небольшие (до 50%) и большие (более 50%).

Действие первых проявляется не сразу, а постепенно, в то время как последствия вторых проявляются через короткое время. Если превышение температуры над допустимым значением невелико, то старение изоляции происходит медленно. Небольшие изменения в структуре изолирующего материала накапливаются постепенно. По мере возрастания температуры процесс старения значительно ускоряется.

При больших перегрузках (более 50%) изоляция быстро разрушается под действием высокой температуры. Повышение тока вызывает увеличение переменных потерь. Обмотка начинает нагреваться. Величина установившегося превышения температуры зависит от величины тока.

Через некоторое время после возникновения перегрузки температура обмоток достигает допустимого для данного класса изоляции значения. При больших перегрузках оно будет короче, при малых - длиннее. Таким образом, каждому значению перегрузки будет соответствовать свое допустимое время, которое можно считать безопасным для изоляции.

Зависимость допустимой длительности перегрузки от ее величины называется **перегрузочной характеристикой электродвигателя**. Теплофизические свойства [электродвигателей разных типов](#) имеют некоторые отличия, также отличаются и их характеристики. На рисунке сплошной линией показана одна из таких характеристик.

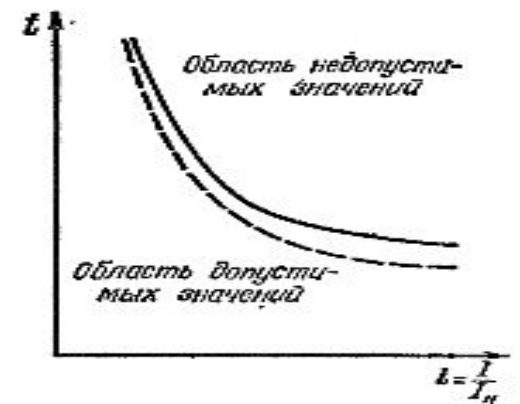
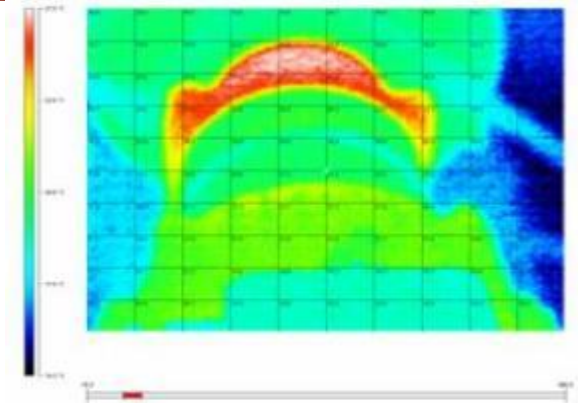
В ГОСТе 8865-93 (МЭК 85-84) четко обозначены классы изоляции обмоток по нагревостойкости с привязкой к соответствующим значениям температуры.

Начинается классификационный ряд с температуры в 90 град. (класс Y). Далее А – 105 град., Е – 120 град., В – 130 град., F – 155 град., Н – 180 град.

- двигатели [погружных насосов](#) - двигатели погружных насосов серии Иртыш российских [КНС](#) – класс изоляции F, - маломощные двигатели - класс изоляции E,
- спец. оборудование металлургии и транспорта - класс изоляции H и пр.

Класс нагревостойкости, иначе температурный индекс, начиная с 200 градусов обозначается числовым значением температуры, для 200 град. – класс 200, для 220 град. – класс 220, для 250 град. – класс 250, затем идет обозначение с шагом в 25 град. (275, 300, 325, 350 и т.д.).

Считают, что перегрев сверх допустимого на каждые 8 - 10°C



показатели надежности

Одним из важнейших показателей надежности является **наработка на отказ**, измеряющаяся числом часов работы до первого отказа. Чем больше это число, тем выше надежность изделия.

Различают конструкционную и эксплуатационную надежность электродвигателя.

Обобщающим показателем, который оценивает готовность устройства к выполнению своих функций в нужное время, является коэффициент готовности, который определяют по формуле

$$k_t = t_{cp} / (t_{cp} + t_{в})$$

где t_{cp} — средняя наработка на отказ; $t_{в}$ — среднее время восстановления.

Таким образом, k_t — отношение среднего времени безотказной работы к сумме времени безотказной работы и времени восстановления работоспособности.

Низкая надежность устройства может быть скомпенсирована уменьшением времени восстановления работоспособности.

Причиной низкой готовности устройства может быть небольшая средняя наработка на отказ и большое время восстановления. Первая из этих величин зависит от надежности изделия и уровня его технической эксплуатации. Чем выше его качество, тем больше средняя наработка на отказ. Однако если на восстановление работоспособности и на техническое обслуживание требуется много времени, то готовность оборудования не повышается. Иначе говоря, использование высококачественного оборудования должно дополняться высоким уровнем технического обслуживания и ремонта. Только в этом случае можно добиться бесперебойности его работы.

Защита не может предотвратить отказ двигателя, так как она не может воздействовать на те факторы, которые создают аварийную ситуацию.

Роль устройств защиты от перегрузки заключается в том, чтобы предотвратить выход из строя электродвигателя, своевременно выключив его. Это позволяет значительно сократить время восстановления работоспособности электрооборудования. На устранение причины, вызвавшей аварийный режим, требуется меньше времени, чем на ремонт или замену вышедшего из строя двигателя.

С другой стороны, нельзя допускать необоснованное преждевременное отключение электродвигателя, так как это снижает надежность оборудования в целом. Независимо от причины отключение является отказом. Неправильное действие защиты снижает наработку на отказ, а следовательно, и коэффициент готовности.

В отдельных случаях целесообразно, чтобы она не отключала электроустановку, а давала сигнал об аварийном режиме.

Пользуясь терминологией **теории надежности**, можно сказать, что общее назначение защиты заключается в сокращении времени восстановления работоспособности электроустановки в целом за счет предотвращения выхода из строя электродвигателя. Защита должна реагировать на те же перегрузки, которые действительно создают опасность повреждения электродвигателя.



Защита асинхронных электродвигателей от коротких замыканий

Защита от коротких замыканий отключает двигатель при появлении в его силовой (главной) цепи или в цепи управления токов короткого замыкания.

Аппараты, осуществляющие защиту от коротких замыканий (плавкие предохранители, электромагнитные реле, автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем), действуют практически мгновенно, т. е. без выдержки времени.

Для каждого двигателя независимо от его мощности и напряжения должна быть предусмотрена защита от коротких замыканий. Здесь нужно иметь в виду следующие обстоятельства. С одной стороны, защиту нужно отстроить от пусковых и тормозных токов двигателя, которые могут в 5—10 раз превышать его номинальный ток. С другой стороны, в ряде случаев коротких замыканий, например при витковых замыканиях, замыканиях между фазами вблизи от нулевой точки статорной обмотки, замыканиях на корпус внутри двигателя и т. п., защита должна срабатывать при токах, меньших пускового тока.

Одновременное выполнение этих противоречивых требований с помощью простых и дешевых средств защиты представляет большие трудности. Поэтому система защиты низковольтных асинхронных двигателей строится при сознательном допущении, что при некоторых отмеченных выше повреждениях в двигателе последний отключается защитой не сразу, а лишь в процессе развития этих повреждений, после того как значительно возрастет ток, потребляемый двигателем из сети.

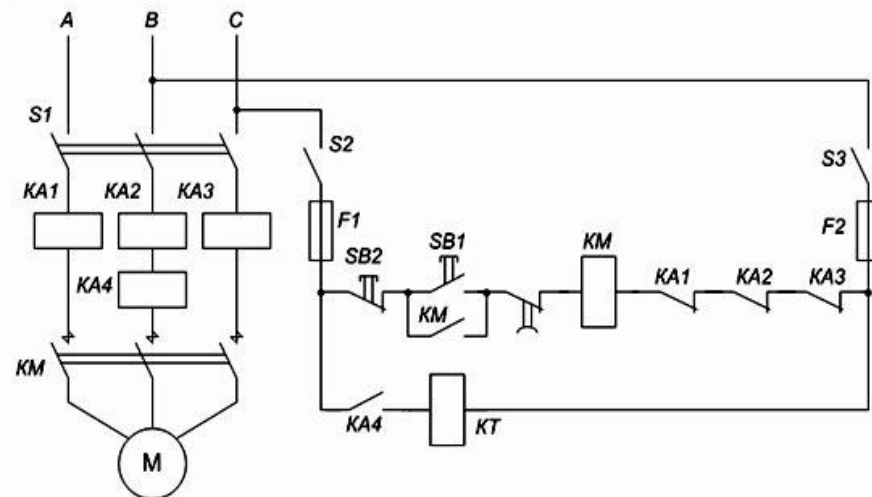


Рис. 2 Схема защиты асинхронного двигателя от КЗ

Защита асинхронных электродвигателей от коротких замыканий

Автоматические выключатели

электромагнитные для защиты от токов КЗ

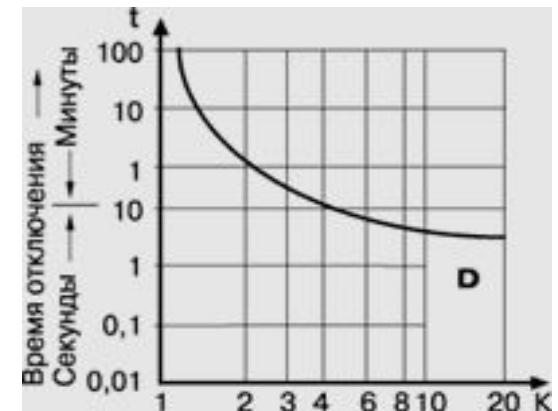
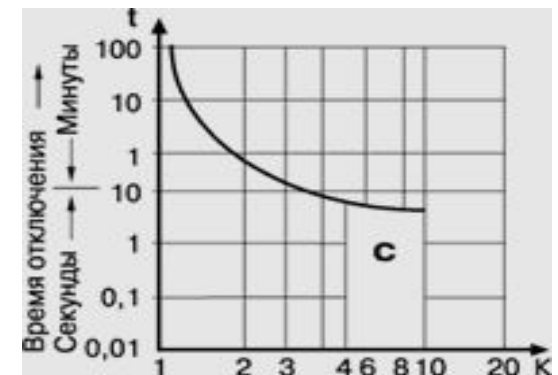
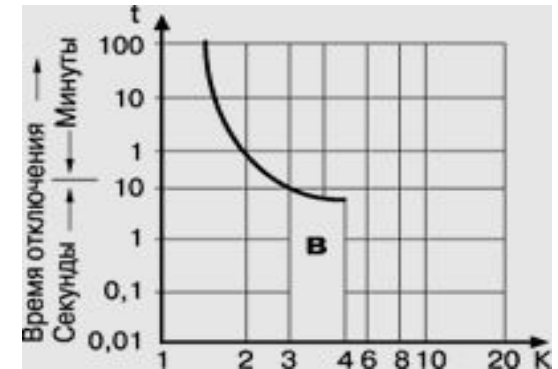
В соответствии со стандартами IEC 898 (стандарт международной электротехнической комиссии) и EN 60898 (европейская норма) по характеристикам срабатывания выключатели бывают трех типов: В, С, D.

Тип В – величина тока срабатывания магнитного расцепителя равна $I_b = K \cdot I_{ном}$ при $K = 3-6$. Для бытового применения, где ток нагрузки невысокий и ток КЗ может попасть в зону работы теплового, а не электромагнитного расцепителя.

Тип С – величина тока срабатывания магнитного расцепителя $I_c = K \cdot I_{ном}$ при $K = 5-10$. Для бытового и промышленного применения: для двигателей с временем пуска до 1 с, нагрузок с малыми индуктивными токами (холодильных машин и кондиционеров).

Тип D – величина тока срабатывания магнитного расцепителя $I_d = K \cdot I_{ном}$ более $10I_{ном}$. Применяется для мощных электрических двигателей с затяжным временем пуска.

Для выбора автоматического выключателя по отключающей способности необходимо выполнить расчет ожидаемого тока КЗ.



Защита асинхронных электродвигателей от перегрузки

Защита асинхронных электродвигателей от перегрузки

Защита от перегрузки предохраняет двигатель от недопустимого перегрева, в частности и при сравнительно небольших по величине, но продолжительных тепловых перегрузках. Защита от перегрузки должна применяться только для электродвигателей тех рабочих механизмов, у которых возможны ненормальные увеличения нагрузки при нарушениях рабочего процесса.

Аппараты защиты от перегрузки (температурные и [тепловые реле](#), электромагнитные реле, автоматические выключатели с тепловым расцепителем или с часовым механизмом) при возникновении перегрузки отключают двигатель с определенной выдержкой времени, тем большей, чем меньше перегрузка, а в ряде случаев, при значительных перегрузках, — и мгновенно.

В данной схеме реализована токовая защита электродвигателя, эту функцию осуществляет тепловое реле, отключающее один из выводов обмотки от земли при превышении номинального тока, протекающего по всем, двум или какой то одной фазе питания. Защитное реле отключит нагрузку и при возникновении короткого замыкания в силовых цепях на электрический двигатель. Работает тепловой защитный аппарат по принципу механического размыкания контрольных клемм вследствие нагрева соответствующих элементов.

На рис.3 показаны электротепловые реле для защиты от перегрузки. Эта защита предотвращает работу двигателя на двух фазах, поэтому магнитный пускатель состоит из двух тепловых реле КК. Номинальный ток электротеплового реле определяют по условию:

$$I_{р.ном} \geq I_{нг.ном} \approx I_{д.ном}$$

где $I_{нг.ном}$ - номинальный ток сменного нагревателя электротеплового реле.

[Повторно-кратковременный режим работы](#) можно отнести к наиболее неблагоприятному с точки зрения действия защиты. Периодическое включение в работу предполагает возможность кратковременной перегрузки двигателя. При этом величина перегрузки должна быть ограничена по условию нагрева обмоток не выше допустимого значения.

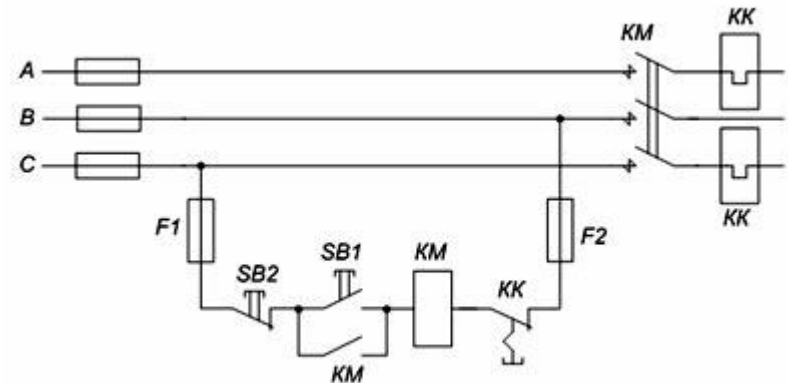
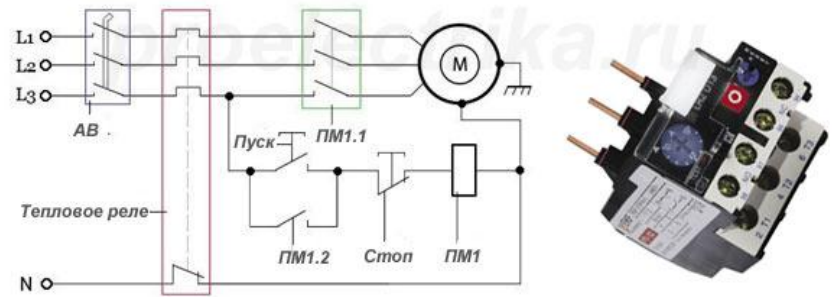


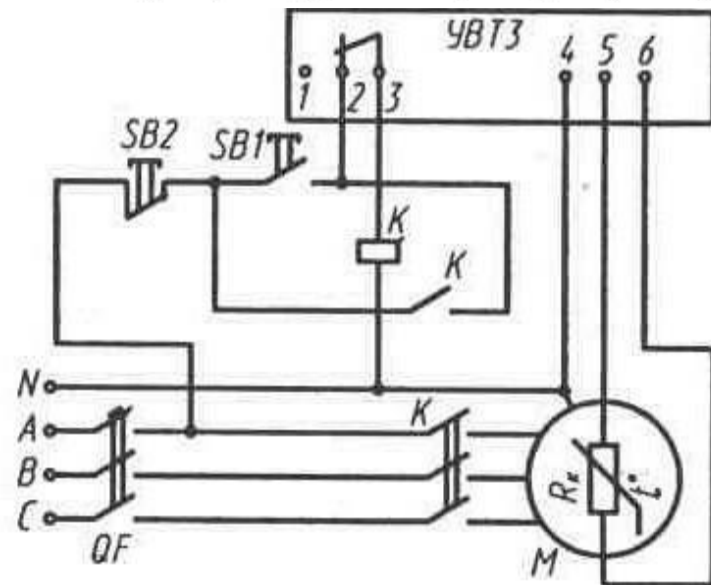
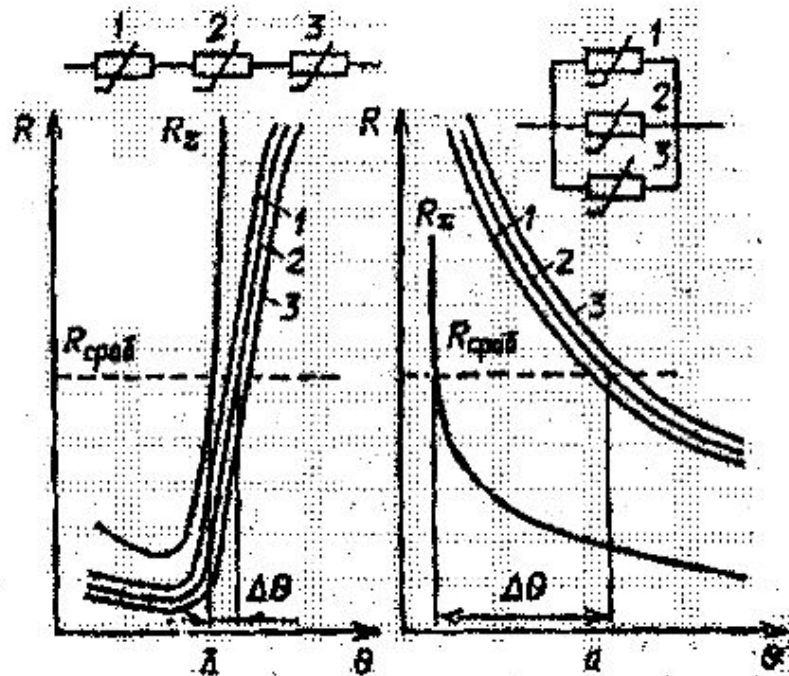
Рис.3 Защита от перегрузки тепловыми реле

Устройства встроенной тепловой защиты (УВТЗ)

Термочувствительные защитные устройства: термисторы, позисторы

В качестве датчиков температуры получили применение термисторы и позисторы - полупроводниковые резисторы, изменяющие свое сопротивление от температуры. Термисторы представляют собой полупроводниковые резисторы с большим отрицательным ТСК. При увеличении температуры сопротивление термистора уменьшается, что используется для схемы отключения двигателя. Для увеличения крутизны зависимости сопротивления от температуры, термисторы, наклеенные на три фазы, включаются параллельно (рисунок 1).

Устройство отключает пускатель электродвигателя, когда температура обмоток двигателя становится больше допустимой для данного типа изоляции обмоток двигателя. Устройство состоит из электронного блока и датчиков. Датчики устанавливаются в лобовых частях обмотки двигателя (по одному на каждую фазу). Температурными датчиками служат полупроводниковые термосопротивления — позисторы. Схема внешних соединений при данном виде защиты показана на рис. При повышении температуры обмотки двигателя увеличивается сопротивление встроенного резистора R_k , которое воздействует на электронную схему электронного блока, в результате чего размыкаются контакты 2-3 реле, находящегося в электронном блоке, и отключают катушку пускателя K .



Защита электродвигателей от понижения или исчезновения напряжения

Защита от понижения или исчезновения напряжения (нулевая защита) выполняется с помощью одного или нескольких электромагнитных аппаратов, действует на отключение двигателя при перерыве питания или снижении напряжения сети ниже установленного значения и предохраняет двигатель от самопроизвольного включения после ликвидации перерыва питания или восстановления нормального напряжения сети.

Асинхронный двигатель нельзя оставлять в работе при длительных глубоких снижениях напряжения сети во избежание перегрева, особенно если двигатель полностью нагружен.

После отключения по КЗ происходит самозапуск электродвигателей, подключенных к секции или системе шин, на которых во время КЗ имело место снижение напряжения. Токи самозапуска, в несколько раз превышающие номинальные, проходят по питающим линиям (или трансформаторам) собственных нужд. В результате напряжение на шинах собственных нужд, а следовательно, и на электродвигателях понижается настолько, что вращающий момент на валу электродвигателя может оказаться недостаточным для его проворота. Самозапуск электродвигателей может не произойти, если напряжение на шинах окажется ниже 55-65 % Ином.

Для того чтобы обеспечить пуск наиболее ответственных электродвигателей, устанавливается защита минимального напряжения, отключающая неответственные электродвигатели, отсутствие которых в течение некоторого времени не отразится на производственном процессе. При этом уменьшается суммарный ток самозапуска и повышается напряжение на шинах собственных нужд, благодаря чему обеспечивается самозапуск ответственных электродвигателей.

В некоторых случаях при длительном отсутствии напряжения защита минимального напряжения отключает и ответственные электродвигатели. Это необходимо, в частности, для пуска схемы АВР электродвигателей, а также по технологии производства. Так, например, в случае остановки всех дымососов необходимо отключить мельничные и дутьевые вентиляторы и питатели пыли; в случае остановки дутьевых вентиляторов - мельничные вентиляторы и питатели пыли. Отключение ответственных электродвигателей защитой минимального напряжения производится также в тех случаях, когда их самозапуск недопустим по условиям техники безопасности или из-за опасности повреждения приводимых механизмов.

Для этих целей и предусматривается защита от понижения или исчезновения напряжения, называемая обычно нулевой защитой. Аппаратами этой защиты являются контакторы, магнитные пускатели и специально установленные электромагнитные реле напряжения.

При питании главной цепи и цепи управления от одной сети (например, схемы рис.2 и 3) и кнопочном управлении нулевая защита осуществляется контактором или магнитным пускателем КМ. Действительно, при исчезновении напряжения в сети контактор КМ отпадает, а включение его вновь возможно лишь после нажатия кнопки "Пуск" (SB1) при условии, что напряжение сети будет не меньше $0,85U_{н.с}$. Объясняется это тем, что контакторы переменного тока и магнитные пускатели имеют напряжение надежного срабатывания не менее $0,85U_{н.с}$. Напряжение возврата у них обычно не превышает $(0,4-0,5)U_{н.с}$.

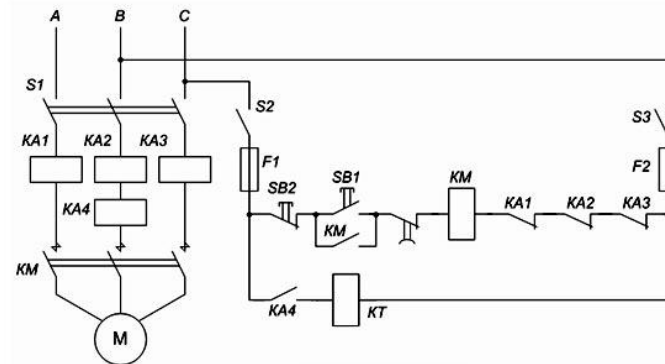


Рис.2 Схема защиты асинхронного двигателя от КЗ

защита асинхронных электродвигателей от работы на двух фазах

защита асинхронных электродвигателей от работы на двух фазах

предохраняет двигатель от перегрева, а также от «опрокидывания», т. е. остановки под током вследствие снижения момента, развиваемого двигателем, при обрыве в одной из фаз главной цепи. Защита действует на отключение двигателя.

В качестве аппаратов защиты применяются как тепловые, так и электромагнитные реле. В последнем случае защита может не иметь выдержки времени.

"Правила устройства электроустановок" допускают применение специальной защиты от работы на двух фазах (от потери фазы) лишь в порядке исключения для двигателей, защищенных только плавкими предохранителями, то есть не оборудованными тепловой защитой.

В трехфазной силовой цепи при перегорании одного предохранителя возможна работа на двух фазах, что приводит к перегреванию двигателей. При нормальной трехфазной работе двигателя напряжение на реле напряжения КV равно нулю. При обрыве фазы появляется напряжение на реле КV, которое срабатывает и размыкает свой контакт в цепи питания контактора КМ, что приводит к отключению двигателя от сети.

Хорошо отстроенная тепловая защита вполне надежно защищает электродвигатель от потери фазы, если нагрузка на валу не менее 65-70% номинальной и нагревательный элемент выбран по номинальному току электродвигателя. В случае соединения обмоток в звезду при обрыве фазы ток статора возрастет в 1,7-2 раза и будет составлять $(1,2-1,4) / I_n$ двигателя, что вполне достаточно для надежного срабатывания реле.

Если двигатель работал при нагрузке, меньшей чем 50% номинальной и произошла потеря фазы, то ток не превысит номинального и двигатель может продолжать работать. Потеря фазы при полной нагрузке может привести к «опрокидыванию» двигателя, то есть его полному торможению. Запуск на двух фазах даже при отсутствии нагрузки невозможен. Как в первом, так и во втором случае по обмоткам заторможенного двигателя будет проходить ток, равный примерно 87% пускового тока трехфазного режима. Тепловая защита сработает за 10-15 с и исключит перегрев обмоток.

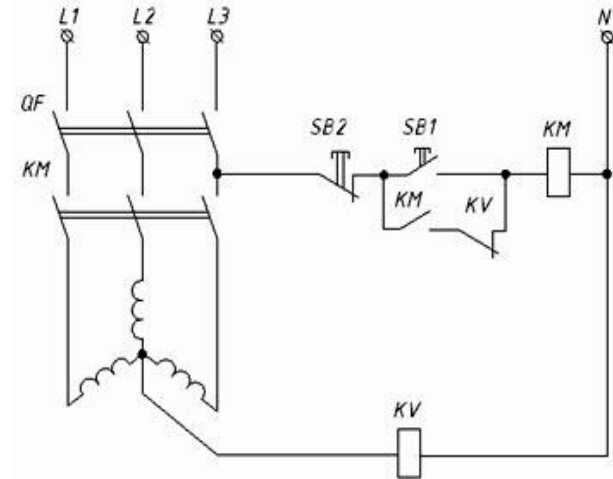


Рис. 5 Схема защиты от работы двигателя на двух фазах

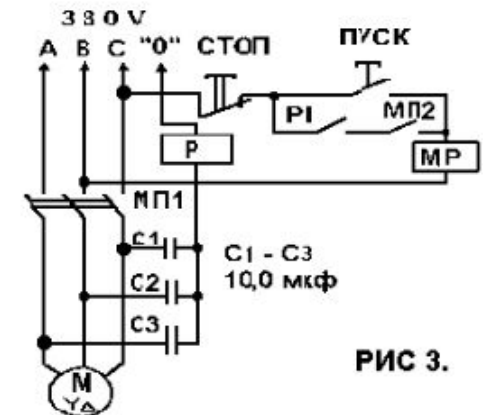


РИС 3.