

КУРС " ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ."

ТЕМА 2. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОНТАКТОРОВ И ТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ

Содержание

- 2.1 Магнитные пускатели
 - 2.1.1 Общие сведения
 - 2.1.2 Дистанционное управление нереверсивным электродвигателем
 - 2.1.3 Дистанционное управление реверсивным электродвигателем
- 2.2 Контактторы
 - 2.2.1 Конструктивное исполнение контакторов МП, характеристики
 - 2.2.2 Контактторы пускателей серии ПМЛ
 - 2.2.3 Контактторы пускателей серии ПМА
 - 2.2.4 Контактная система
 - 2.2.5 Система дугогашения
 - 2.2.6 Мероприятия по устранению вибрации якоря
 - 2.2.7 Обмотки электромагнита контактора
 - 2.2.8 Характеристики пускателя как релейного элемента
- 2.3 Тепловые реле
 - 2.3.1 Общие сведения
 - 2.3.2 Технические характеристики тепловых реле и магнитных пускателей

2.1 Магнитные пускатели

2.1.1 Общие сведения

Магнитные пускатели (МП) – электрические аппараты, предназначенные для дистанционного управления (пуск, останов, реверс) асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором (АД), а также другими электроприёмниками. МП представляют собой сочетание

контактора переменного тока и теплового реле. При этом контактор выполняет функцию коммутации цепи питания обмотки статора двигателя, а реле - защиту обмотки статора двигателя от нагрева до недопустимо высокой температуры за время протекания пускового тока. Увеличение тока может происходить из-за превышения момента сопротивления на валу двигателя (нагрузка выше номинальной) либо из-за снижения напряжения в пусковом режиме, превышающую допустимую величину. В таких случаях тепловое реле своим «размыкающим» контактом *КК* разрывает цепь питания обмотки (катушки) электромагнита контактора, который, в свою очередь, разрывает силовую цепь обмотки двигателя. Принцип действия контактора МП, как и любого другого электромагнитного механизма, основан на явлении притяжения между намагниченными магнитными телами.

На рис. 2.1 приведена схема, поясняющая принцип действия МП с катушкой управления на постоянном токе. Главные контакты контактора *КМ* включены в силовую цепь двигателя *М*, втягивающая обмотка контактора (катушка) - в цепь управления, содержащую кнопки «Пуск» и «Стоп». Контактор изображен в состоянии, когда силовая цепь двигателя обесточена. В этом случае напряжение с обмотки *16*, установленной на сердечнике *15*, снято и его подвижная система под действием возвратной пружины *11*, создающей силу P_B , приходит в нормальное состояние. Возникающая при расхождении главных контактов *б* дуга *Д* гасится в дугогасительной камере *5*, имеющей изоляционные перегородки *4*, которые способствуют растяжению дуги, увеличению ее длины и сопротивления. На выходе камеры установлены металлические пластины пламягасительной решетки *3*, обеспечивающие рассеивание остаточного столба ионизированных газов, возникших в процессе гашения дуги.

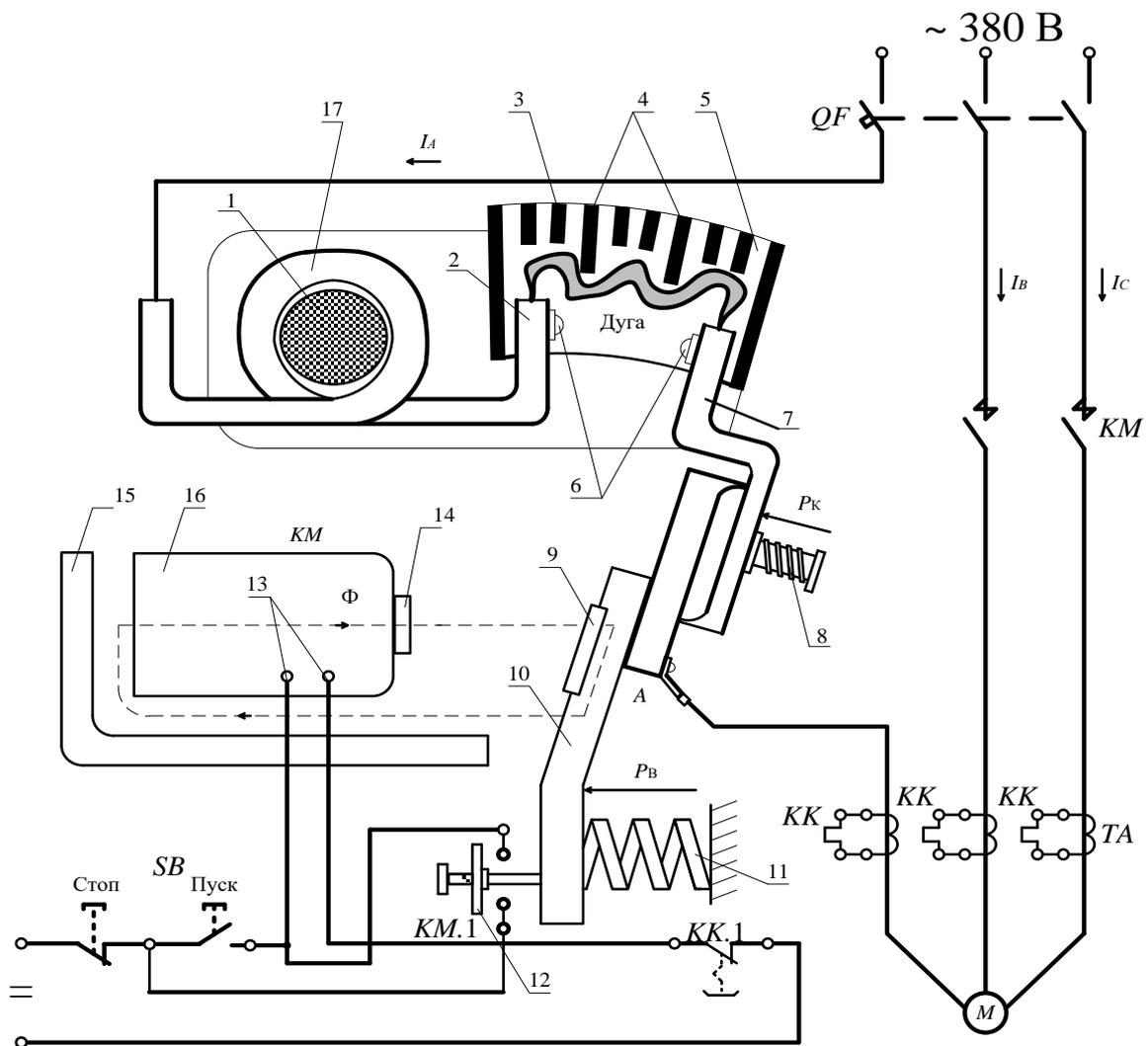


Рис. 2.1. Устройство и схема включения контактора (KM) с тепловыми реле (KK), подключенными к вторичным обмоткам трансформаторов тока (ТА).

Управление трехфазным асинхронным двигателем

Быстрый выход дуги с контактов в камеру обеспечивается системой магнитного дутья. В цепь главного тока включена последовательная обмотка 17, которая размещена на стальном сердечнике 1. Две стальные пластины - полюса, расположенные по бокам сердечника 1, подводят создаваемое обмоткой 17 магнитное поле к зоне столба дуги, возникшей между контактами. Взаимодействие этого поля с током дуги приводит к появлению сил, которые воздействуют на дугу и способствуют ее вхождению в камеру. Дугогасительная камера 5 изготавливается из дугостойкого изоляционного материала (асбоцемент).

Контактор включается, если подается напряжение на зажимы 13 обмотки 16 приводного электромагнита (катушки), что осуществляется нажатием пусковой кнопки. Поток Φ , созданный током, протекающим через обмотку электромагнита (катушку), развивает тяговую силу, и якорь 10

электромагнита притягивается к его сердечнику, преодолев силы противодействия возвратной 11 и контактной 8 пружин. При включении контактора пусковая кнопка шунтируется вспомогательными контактами 12 контактора. Поэтому при ее отпуске цепь обмотки 16 не разрывается и контактор остается во включенном состоянии.

Сердечник электромагнита оканчивается полюсным наконечником 14, поперечное сечение которого больше поперечного сечения сердечника. Этим достигается некоторое увеличение силы, создаваемой электромагнитом, а также видоизменением тяговой характеристики электромагнита (зависимости электромагнитной силы от величины воздушного зазора). На якоре 10 установлена немагнитная прокладка 9 (латунь) толщиной 0,1 – 0,2 мм для уменьшения силы, обусловленной остаточной индукцией, и предохранение таким образом якоря магнитной системы от залипания.

Соприкосновение контактов 2 и 7 друг с другом и замыкание цепи при включении контактора происходит раньше, чем якорь электромагнита полностью притянется к полюсу. По мере движения якоря, подвижный контакт 7 как бы проваливается, упираясь верхней частью в неподвижный контакт 2, который поворачивается на некоторый угол вокруг точки А и вызывает дополнительное сжатие контактной пружины 8. Это явление получило название «провал контактов», под которым подразумевается величина смещения подвижного контакта на уровне точки его касания с неподвижным контактом в случае, если неподвижный контакт удален.

Провал контактов обеспечивает надежное замыкание цепи, если толщина контактов уменьшается вследствие выгорания их материала под воздействием электрической дуги. Величина провала определяет запас материала контактов на износ в процессе работы контактора и обычно составляет 1-10 мм. В момент соприкосновения подвижный контакт 7 оказывает давление на неподвижный контакт 2, обусловленное предварительным натяжением контактной пружины 8. Переходное сопротивление контактов в момент их касания невелико и контактная площадка разогревается при включении до значительной температуры. Предварительное контактное нажатие, создаваемое пружиной 8, позволяет снизить вибрацию (отскоки) подвижного контакта при ударе его о неподвижный контакт. Все это предохраняет контакты от приваривания при включении электрической цепи. На контактах имеются контактные накладки б, выполненные из специального материала, например серебра, чтобы улучшить условия длительного прохождения тока через замкнутые контакты во включенном состоянии. Накладки из дугостойкого контактного материала для уменьшения износа контактов под воздействием электрической дуги, размещают в местах первого касания контактов при «замыкании» и последнего – при «размыкании».

Пускатель может осуществлять пуск, останов, реверс и защиту двигателей. Его основное принципиальное отличие от контактора состоит в наличии защитного элемента, например теплового реле, осуществляющего автоматическую защиту от перегрузок двигателей.

2.1.2 Дистанционное управление нереверсивным электродвигателем

Принципиальная электрическая схема подключения двигателя к силовой сети в многолинейном исполнении совместно со схемой управления приведена на рис. 2.2. Рассмотрим основные режимы работы двигателя и сети.

Дистанционность (управление на расстоянии) обеспечивается тем, что кнопки управления располагаются в месте, где оператору удобно управлять технологическим процессом с использованием асинхронного двигателя (АД).

1. *Пуск АД.* Вручную включается автоматический выключатель QF и «нажимается кнопка управления» $SBON$ (замыкается контакт $SBON$). Под действием напряжения фазы C образуется замкнутый контур протекания тока I_y через обмотку электромагнита магнитного пускателя KM . Контур тока обозначен на рис.2.2 стрелкой перечеркнутой одной чертой. Ток I_y создает магнитный поток, намагничивающий якорь контактора, и якорь притягивается к сердечнику. Подвижные контакты KM , механически связанные с якорем, производят замыкание главной (силовой) цепи. Под действием трехфазной системы ЭДС (напряжений) обмоток трансформатора по электрической сети и обмоткам статора протекают трехфазные токи I . Они создают вращающее магнитное поле, которое согласно закону электромагнитной индукции приведет к возбуждению ЭДС и протеканию токов в обмотках ротора. На проводники ротора с током будут действовать силы со стороны магнитного поля статора, вращающий момент этих сил начнет разворачивать ротор. В начале пуска индуктивное сопротивление обмоток статора не велико, поэтому величина тока I многократно (в 5-7 раз) превышает номинальную величину тока в установившемся режиме работы.

Вспомогательный контакт (блок-контакт) $KM.1$ шунтирует кнопку $SBON$, что дает возможность ее «отпустить» (размыкается контакт $SBON$), но цепь питания обмотки (катушки) KM не нарушится и главные контакты МП KM будут удерживаться во включенном состоянии.

2. *Останов АД.* Нажимается кнопка $SBOFF$ и обмотка контактора магнитного пускателя KM «теряет питание», разрывается цепь тока управления I_y . Магнитный поток, создающий электромагнитную силу, удерживающую якорь в притянутом положении исчезает. Якорь под действием возвратных и контактных пружин отрывается от сердечника. Главные контакты, механически связанные с якорем, размыкают главную цепь питания обмоток электродвигателя. Цепь тока I разрывается, двигатель под действием тормозного момента, существующего на его валу, останавливается.

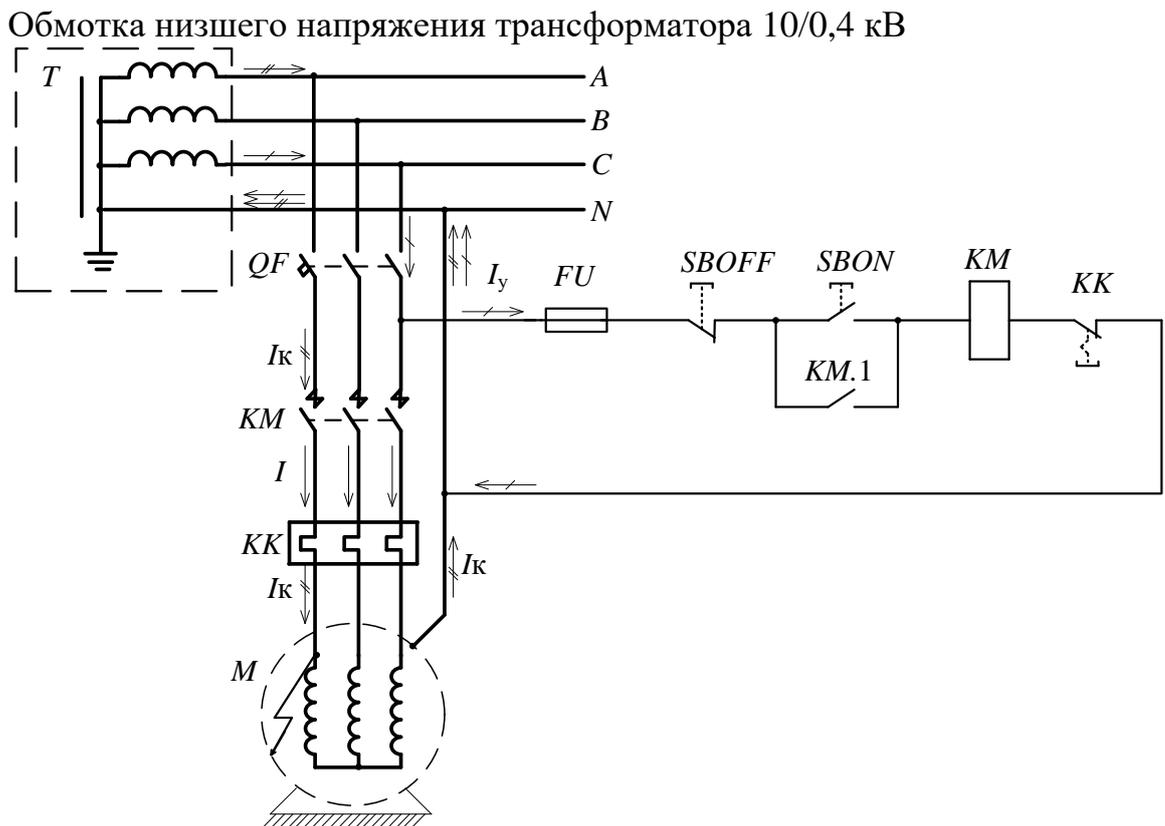


Рис. 2.2. Схема подключения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором к цеховой сети. Принципиальная схема управления двигателем

3. *Защита АД от перегрузки.* При повышенном механическом моменте на валу АД по фазам статора двигателя протекают токи, по величине большие, чем номинальные значения. При этом срабатывает тепловое реле и размыкает свой размыкающий контакт *КК* в цепи обмотки электромагнита контактора *КМ*. Цепь тока управления I_y , проходящего через катушку *КМ* разрывается. Магнитный поток, создающий электромагнитную силу, удерживающую якорь в притянутом положении исчезает. Якорь под действием возвратных и контактных пружин отрывается от сердечника. Главные контакты, механически связанные с якорем, размыкают главную цепь питания обмоток электродвигателя. Двигатель под действием тормозного момента, существующего на его валу, останавливается. Защита от перегрузки осуществляется при токе, начиная с 1,05 от номинального тока теплового реле $I_{нтр}$. Выдержка времени срабатывания будет уменьшаться при больших токах перегрузки.

Ситуация перегрузки АД возникает при обрыве одной из фаз силовой цепи, питающих обмотки двигателя. Электродвигатель продолжает вращаться, но оставшиеся в работе обмотки потребляют из сети повышенный ток, который может привести их к перегреву и повреждению. Тепловое реле работает в двухполюсном режиме и ускоренно размыкает цепь питания обмотки контактора. Большинство современных реле обеспечивают

ускоренное срабатывание для режима работы реле при нагреве только двух полюсов.

4. *Короткое замыкание на корпус АД.* По поврежденной фазе и нулевому проводу начинает протекать ток к.з. I_k . Контур протекания тока I_k обозначен на рис. 2.2 стрелкой перечеркнутой двумя чертами. Этот ток приводит к мгновенному срабатыванию электромагнитного расцепителя автоматического выключателя QF , который своими контактами совместно с дугогасительной системой разрывает цепь его протекания за время 0,02с.

Автоматический выключатель защищает не только проводники электрической сети и обмотки электродвигателя, но также воспринимающую часть теплового реле (биметаллические пластины и нагревательные элементы) и силовые контакты электромагнитного контактора.

Внимание! Срабатывание теплового реле KK при к.з. недопустимо. Отключение тока к.з. в этом случае будет осуществляться контактами магнитного пускателя KM . Контактная и дугогасительная система KM не рассчитаны на отключение больших токов, поэтому они повреждаются возникающей электрической дугой. Часто однофазное к.з. переходит в трехфазное к.з. на контактах МП, которое приводит к еще большим разрушениям.

5. *Короткое замыкание в цепи управления МП.* Этот вид к.з. отключается путем перегорания плавкого элемента предохранителя FU . При этом разрывается цепь тока управления I_y , проходящего через катушку KM . Магнитный поток, создающий электромагнитную силу, удерживающую якорь в притянутом положении исчезает. Якорь под действием возвратных и контактных пружин отрывается от сердечника. Главные контакты, механически связанные с якорем, размыкают главную цепь питания обмоток электродвигателя. Двигатель под действием тормозного момента, существующего на его валу, останавливается.

При использовании двигателя с номинальным током до 10А данный предохранитель не устанавливается, а его функции выполняет автоматический выключатель QF .

6. *Защита от понижения напряжения и от самозапуска.* При пониженном напряжении двигатель потребляет из сети повышенный ток, который может привести к перегреву обмоток. Поэтому данный режим должен быть исключен без выдержки времени при помощи защиты минимального напряжения, которая осуществляется с использованием обмотки контактора МП. При понижении напряжения уменьшается ток, протекающий через катушку МП, которая не сможет создать достаточный электромагнитный момент для удержания якоря в притянутом положении при снижении питающего напряжения до 30 ÷ 60% от номинального значения, контакты KM в силовой цепи размыкаются и происходит автоматическое отключение АД от сети. Одновременно размыкается и вспомогательный контакт $KM.1$. Тем самым предотвращается самопроизвольное повторное включение электроприемника после восстановления сетевого напряжения. В этом случае говорят о предотвращении самозапуска АД.

Аналогичная ситуация возникает при полном исчезновении напряжения, чем исключается самозапуск АД при последующем восстановлении напряжения в сети.

Самозапуск большого количества АД недопустим, т.к. в процессе пуска происходит увеличение тока в 5-7 раз выше номинального значения, что приведет к увеличению падения напряжения в подводящей сети и недопустимому снижению напряжения в точках подключения АД. Это не позволит создать достаточный пусковой момент для запуска.

7. Дополнительная защита от неполнофазного режима работы электродвигателя. При защите АД и сети от к.з. предохранителями (вместо автоматического выключателя QF) при к.з. на корпус происходит перегорание лишь одного предохранителя, что приводит к работе АД на двух фазах. Если запитать обмотку контактора МП на междуфазное (линейное, а не фазное) напряжение, то в двух из трех случаев защита осуществляется мгновенно, так как исчезает напряжение, под действием которого протекает ток управления I_y . Магнитный поток, создающий электромагнитную силу, удерживающую якорь в притянутом положении исчезает. Якорь под действием возвратных и контактных пружин отрывается от сердечника. Главные контакты, механически связанные с якорем, размыкают главную цепь питания обмоток электродвигателя. Двигатель под действием тормозного момента, существующего на его валу, останавливается.

В одном из трех случаев защита осуществляется тепловым реле KK по ускоренному варианту при загрузке двух полюсов теплового реле.

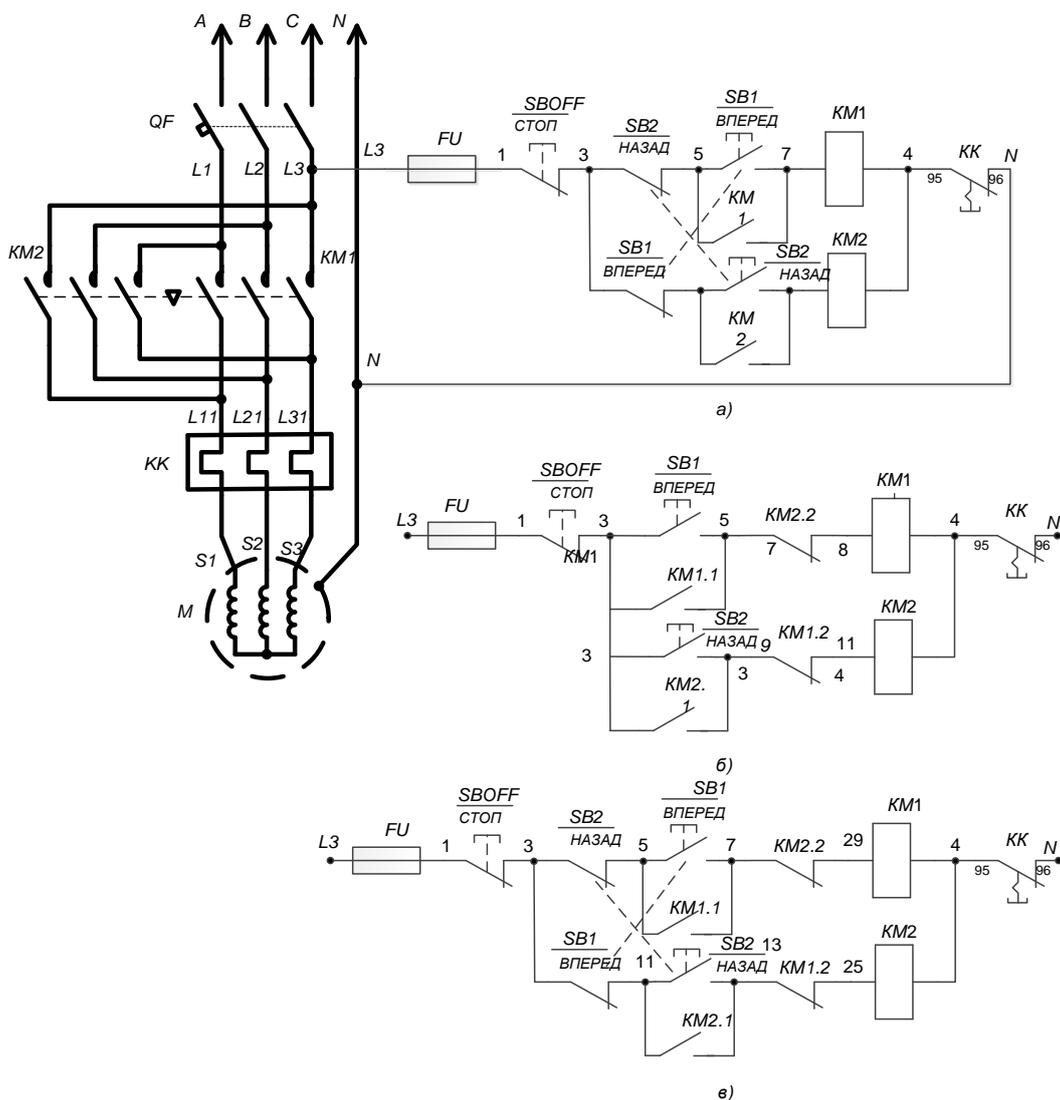
2.1.3 Дистанционное управление реверсивным электродвигателем

Реверсивный магнитный пускатель представляет собой два трехполюсных контактора с тепловым реле (рис. 2.3). Контакторы имеют разную маркировку $KM1$ – «Вперед» и $KM2$ – «Назад» и механически между собой сблокированы, чтобы предотвратить возможность случайного включения одновременно обоих контакторов. Чтобы изменить направление вращения двигателя нужно «перекрестить» (поменять местами на зажимах электродвигателя) любые две фазы. Так, например, при вращении вперед фазы $L1, L2, L3$ присоединяются к выводам $S1, S2, S3$. При вращении назад фазы $L1, L2, L3$ присоединяются к выводам $S3, S2, S1$. Одновременное включение контакторов $KM1$ и $KM2$ приведет к к.з. $L1$ и $L3$, что и предотвращается блокировкой. Однако одной механической блокировки для безопасности работы реверсивного пускателя недостаточно. Поэтому механическая блокировка дополняется электрической.

На рис. 2.3, *a* показана электрическая блокировка посредством кнопок, которая сводится к тому, что при нажатии кнопки $SB1$ /вперед раньше размыкается ее контакт в цепи контактора $KM2$ /назад, а затем замыкается другой контакт в цепи контактора $KM1$ /вперед. Аналогично действует кнопка $SB2$ /назад. Эта схема позволяет, используя только кнопки $SB1$ и $SB2$, изменять направление вращения двигателя.

На рис. 2.3, б для электрической блокировки использованы блок-контакты (вспомогательные контакты) контактора. При включении контактора *КМ1*/вперед его контакты *КМ1.2* с заводской маркировкой 3-4 (написана под линией) отключают контактор *КМ2*/назад. Аналогично блок контакт *КМ2.2* с маркировкой 7-8 включившегося контактора *КМ2*/назад отключает контактор *КМ1*. В этой схеме, чтобы изменить направление вращения двигателя следует сначала его остановить при помощи кнопки *SBOFF*.

На рис. рис. 2.3, в блокировки осуществляются и на кнопках, и на блок-контактах. Схема позволяет изменять направление вращения двигателя без использования кнопки *SBOFF*.



а – электрические блокировки создаются при помощи сдвоенных кнопок,
б - электрические блокировки создаются при помощи вспомогательных контактов контакторов, *в* – электрические блокировки создаются при помощи одновременного действия сдвоенных кнопок и вспомогательных контактов контакторов

Рис. 2.3. Силовые цепи и варианты принципиальных схем дистанционного управления реверсивным двигателем:

Маркировка цепей управления осуществляется нечетными цифрами до катушек контакторов со стороны фазы и четными цифрами – со стороны «нуля». Между катушкой и контактами теплового реле вводится вновь образованная маркировка 4. Она нужна для случая подключения параллельно катушкам, например, ламп сигнализации. Опущена маркировка 2, которая обычно присваивается отрицательному полюсу или нулевому проводнику.

Питание схем управления осуществляется от силовой цепи на фазном напряжении. Также возможно питание на линейном напряжении. При этом номинальное напряжение катушки должно соответствовать этому напряжению и предохранитель устанавливается с каждой стороны питания. При защите силовой цепи предохранителями (а не автоматом QF) катушку надлежит включать на линейное напряжение. В этом случае при «перегорании» плавкой вставки в одной из фаз, от которой запитана цепь управления, произойдет и останов электродвигателя. При перегорании плавкой вставки в фазе, которая не используется для питания цепи управления, двигатель будет продолжать работать на двух фазах. При этом он потребляет повышенный ток (перегружается) и отключается при срабатывании теплового реле KK .

Токопроводящий корпус двигателя присоединяется к нулевому проводнику (или к защитному проводнику PE в сетях административных зданий). Поэтому при замыкании фазы на корпус возникнет контур тока к.з. (в электрической цепи контура будут присутствовать только сопротивления проводников). Протекание тока большой величины приведет к мгновенному срабатыванию электромагнитного расцепителя автоматического выключателя QF и отключению (менее чем за 0,1 с) электродвигателя от сети.

2.2 Контактторы

2.2.1 Конструктивное исполнение контакторов МП, характеристики

Конструктивное исполнение контакторов зависит от назначения, типа магнитной системы и числа полюсов. Наибольшее распространение получили прямоходовая «Ш – образная» и «П–образная» магнитная система. Магнитную систему поворотного типа с Ш–образным сердечником имеет контактор серии ПА, снятый с производства, но находящийся в эксплуатации.

В настоящее время для управления общепромышленными механизмами выпускаются контакторы серий ПМЛ и ПМА. Выпускаются также специальные контакторы, например, серии ПВИ, ПРР для работы во взрывоопасных помещениях; ПМС – для работы в судовых установках. Многие электротехнические компании выпускают контакторы со своей собственной маркировкой.

К характеристикам контакторов относятся:

- а) величина (габарит) - определяющая номинальный ток главных контактов МП (и, следовательно, его размеры);

- б) назначение (реверсивный или нет);
- в) степень защиты согласно ГОСТ 14254-80;
- г) род тока;
- д) количество главных контактов и контактов вспомогательной цепи (блок-контактов);
- е) наличие тепловых реле или других приставок (размножителей контактов, реле времени, кнопок, сигнальных дамп и т.д.)
- ж) климатическое исполнение;
- з) категория размещения (ГОСТ 15150-69, ГОСТ 15543-70);
- и) номинальное напряжение катушки;
- к) мощность, потребляемая катушкой, при включении и удержании;
- л) другие характеристики (сейсмостойкое исполнение, судовое, взрывобезопасное, особенности крепления и т.п.).

2.2.2 Контактторы пускателей серии ПМЛ

Контактторы пускателей серии ПМЛ на токи $10 \div 63$ А (1 – 4 величина) имеют прямоходовую магнитную систему «Ш–образного» типа. Контактная система контакторов расположена над магнитной. Подвижная часть электромагнита (якорь), составляет одно целое с траверсой, в которой расположены подвижные контакты и их контактные пружины. Возвратная пружина находится на среднем стержне якоря. На дугогасительной камере контактора имеются направляющие для крепления дополнительных приставок: контактных – типа ПКЛ (размножитель контактов), кнопки «Пуск» и сигнальной лампы, приставки ПВЛ (пневмореле). Тепловое реле серии РТЛ крепится сбоку с помощью трех штырей, которые зажимаются.

Контактторы серии ПМЛ на токи $80 \div 200$ А (5 – 7 величина) имеют прямоходовую магнитную систему П–образного типа. Контактная система расположена сбоку от магнитной системы. Якорь составляет одно целое с рычагом, передающим движение траверсе. На каждом контакторе установлено два унифицированных узла с блок-контактами (неразборный блок). Тепловые реле крепятся к контактору перемычками.

Структура условного обозначения

ПМЛ – $X_1X_2X_3X_4X_5XX_6X_7$;

- X_1 – величина по номинальному току (1 – 10А; 2 – 25А; 3 – 40А; 4 - 63А; 5 – 80А; 6 – 125А; 7 – 200А);
- X_2 – исполнение по назначению (реверсивный, нереверсивный) и наличие теплового реле (например, 0 – нереверсивный без теплового реле; 1 – тоже с тепловым реле);
- X_3 – исполнение по степени защиты и наличие кнопок (например, 0 – *IP00* – без кнопок; 2 – *IP54* с кнопками "Пуск" и "Стоп");
- X_4 – число контактов вспомогательной сети (например, цифра 0 предполагает наличие одного замыкающего контакта (1з) для

пускателей с номинальным током 10 - 25А и двух контактов: замыкающего и размыкающего (1з+1р) для пускателей с номинальным током 40 - 200 А;

X_5 – буква С для сейсмостойкого исполнения;

XX_6 – климатическое исполнение (0,ТВ) и категория размещения;

X_7 – исполнение по износостойкости (например, для пускателей при напряжении 380В: 1 – 4 величины - 1200 вкл. в час, 5 – 8 величины 600 вкл в час).

Более подробная характеристика приведена в [3].

2.2.3 Контактторы пускателей серии ПМА

Контактторы пускателей серии ПМА 3-й величины имеют прямоходовую «Ш-образную» магнитную систему, состоящую из якоря и сердечника, заключенную в пластмассовый корпус. По направляющим основания скользит пластмассовая траверса, на которой собраны якорь магнитной системы и мостики главных контактов. Мостики блок-контактов собраны в окнах двух пластмассовых толкателей, скользящих по направляющим пазам корпуса.

Контактторы пускателей 4 – 6 величины имеют также прямоходовую магнитную систему, но «П-образного» типа. В них вертикальное перемещение якоря с помощью «Г-образного» рычага преобразуется в горизонтальное перемещение траверсы, несущей подвижные главные контакты. При движении траверсы главных контактов, последняя своими выступами воздействует на траверсы контактов вспомогательной цепи (блок-контакты). Тепловые реле крепятся к корпусам пускателей специальным шинками или «втычными» контактами, которые зажимаются на клеммах контактора.

Структура условного обозначения

ПМА – $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7XX_8X_9$;

X_1 – величина пускателя в зависимости от номинального тока (3 - 40А; 4 – 63А; 80А; 5 – 100А; 6 – 160 А);

X_2 – назначение (реверсивный, нереверсивный), наличие теплового реле и аппарата позисторной защиты (например, 2- с тепловым реле, нереверсивный);

X_3 – степень защиты и наличие кнопок (например, 0 – IP00; 1 – IP40, без кнопок);

X_4 – род тока цепи управления, напряжение главной цепи и число контактов вспомогательной цепи (например, 0 - переменный, 380В, 2з+2р для пускателей от 3 до 6 величины);

X_5 – для пускателей на 80 А – буква Д;

X_6 – для тепловых реле малой, инерционности – буква П;

X_7 – при сейсмостойком исполнении – буква С;

X_8 – климатическое исполнение (У, Т, УХЛ, 0) и категория размещения;
 X_9 – износостойкость (исп. А, Б, В).

Более подробная характеристика приведена в [3].

2.2.4 Контактная система

Контактная система МП выполнена в виде самоустанавливающегося мостика с накладками (на токи до 100А – на основе серебра, на токи свыше 100А – композиция серебра и окиси кадмия). Контакты подпружинены при помощи контактных пружин для обеспечения необходимого «провала» контактов.

2.2.5 Система дугогашения

Гашение дуги при токах до 40А осуществляется за счет механического растяжения при расхождении контактов. При больших токах используется магнитное дутье и дугогасительные камеры.

2.2.6 Мероприятия по устранению вибрации якоря

На стержнях сердечника располагаются у контакторов переменного тока короткозамкнутые витки. Однофазное выполнение магнитной системы и катушек магнитного пускателя приводит к тому, что усилие, удерживающее якорь во втянутом положении, изменяется пропорционально квадрату тока, протекающего через катушку. При периодическом переходе тока и магнитного потока через ноль электромагнитное усилие исчезает, и якорь за счет возвратной пружины и контактных пружин стремится оторваться от сердечника. Однако, по мере периодического нарастания тока, происходит увеличение силы тяги электромагнита и последующее притяжение якоря. В результате происходит вибрация якоря, создающая шум и усиленный износ подвижных частей и контактов пускателя. Для устранения вибрации, часть магнитопровода охватывают короткозамкнутыми витками, выполненными из меди или латуни. Магнитный поток, создаваемый током катушки, наводит в короткозамкнутом витке ЭДС, которая вызывает появление в нем тока, сдвинутого по фазе по отношению к току катушки. Ток, протекающий в короткозамкнутом витке, также создает магнитный поток. Каждый из потоков создаёт свою электромагнитную силу под своей частью полюса. Результирующая ЭМС вследствие сдвига потоков по фазе имеет пульсирующий характер, но минимальное значение силы всегда будет больше силы противодействующих пружин.

2.2.7 Обмотки электромагнита контактора

Обмотки выполняются медным проводом, намотанным на каркас: прямоугольной формы для электромагнитов переменного тока и круглой формы для электромагнитов постоянного тока. В силу этого обмотки в технической литературе называются катушкой.

Ток в обмотке контактора магнитного пускателя (следовательно, и электромагнитная сила) обусловлен величиной напряжения приложенного к клеммным «зажимам» обмотки и полным сопротивлением обмотки – активным и индуктивным.

Экспериментально полное сопротивление контактора определяется по закону Ома методом амперметра-вольтметра:

$$Z = U / I, \quad (2.1)$$

где I – ток в цепи катушки, U – напряжение приложенное к зажимам катушки.

Индуктивное сопротивление обмотки контакторов переменного тока преобладает над активным сопротивлением и зависит от величины воздушного зазора между сердечником и якорем; приближенно может быть определено по выражению:

$$X \cong \frac{62,8wS_{\delta}}{\delta \cdot 10^{-9}}, \text{ Ом} \quad (2.2)$$

где w – число витков катушки; S_{δ} – площадь сечения воздушного зазора, мм²; $S_{\delta} = (1,1 \div 2) \cdot S$, где S – площадь сечения полюса электромагнита; δ – величина воздушного зазора, мм.

Во включенном состоянии (якорь притянут к сердечнику) величина зазора ничтожно мала и индуктивное сопротивление резко увеличивается.

При отпущенном якоре, т.е. большом значении δ , индуктивное сопротивление имеет наименьшее значение. Соотношение между максимальным током в катушке в первый момент включения (при включении) и минимальным при работе зависит от величины воздушного зазора и формы магнитной системы. Наибольшую кратность тока (10-15 имеют Ш-образные магнитные системы, так как обладают увеличенной по сравнению с другими длиной пути магнитного потока в воздухе). Большое значение тока включения по сравнению с рабочим током обмотки ограничивает применение магнитных пускателей при большой частоте включения. Нагрев втягивающей обмотки магнитного пускателя переменного тока обусловлен не только потерями в самой обмотке, но и потерями в стали магнитной системы. Вследствие этого условия теплоотдачи для катушки с обмоткой электромагнита хуже, чем на постоянном токе. Для уменьшения нагрева сердечника и катушки с обмоткой поверхности соприкосновения катушки с сердечником выполняются минимальными, а сами катушки широкими и короткими. Магнитопроводы

электромагнитов переменного тока всегда выполняются шихтованным, т.е. набранными из пластин электротехнической стали электрически изолированными друг от друга, что снижает их нагрев от вихревых токов.

2.2.8 Характеристики пускателя как релейного элемента

Обмотки контакторов пускателей должны обеспечить четкое и надежное притяжение якоря к сердечнику при напряжении 85% от номинального значения U_n при нагретой обмотке и не должны перегреваться при напряжении 105% от номинального значения U_n . Отношение номинального напряжения катушки U_n к напряжению срабатывания $U_{ср}$ называется *коэффициентом запаса* ($K_{зап}$):

$$K_{зап} = U_n / U_{ср}. \quad (2.3)$$

Чем выше коэффициент запаса, тем быстрее и надежнее срабатывает контактор пускателя.

Напряжение возврата якоря, называемое напряжением отпускания, составляет примерно 30-60% от номинального значения U_n . Отношение напряжения отпускания $U_{отп}$ к напряжению срабатывания $U_{ср}$, при котором происходит втягивание якоря, носит название коэффициента возврата (K_v):

$$K_v = U_{отп} / U_{ср}. \quad (2.4)$$

Для аппаратов релейной защиты стремятся иметь K_v ближе к единице. Увеличение K_v может быть достигнуто увеличением натяжения контактной пружины и увеличением конечного зазора (за счет немагнитной прокладки).

Отношение напряжения отпускания $U_{отп}$ к номинальному напряжению катушки U_n называется коэффициентом защиты минимального напряжения ($K_{защ}$):

$$K_{защ} = U_{отп} / U_n. \quad (2.5)$$

Отношение мощности на выходе силовой цепи контактора $P_{вых}$ к мощности на входе (мощности управляющей цепи) называется коэффициентом усиления (K_y):

$$K_y = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \frac{P_{дв}}{S_{уд} \cos \varphi}, \quad (2.6)$$

где $P_{дв}$ – максимальное значение номинальной активной мощности электродвигателя, которой может управлять контактор в силовой цепи;

$S_{уд}$ - полная мощность, потребляемая обмоткой контактора в режиме удержания якоря и коэффициент мощности $\cos\varphi$ в этом режиме.

Чем выше коэффициент усиления, тем более экономично происходит управление объектом. Обмотка контактора мощностью в несколько ватт способна управлять асинхронным электродвигателем значительной мощности $P_{дв}$ в несколько десятков киловатт.

Время от момента включения цепи втягивающей катушки до момента первоначального касания контактов называется *собственным временем включения магнитных пускателей*. Время от момента снятия напряжения с втягивающей катушки до момента появления зазора между главными контактами называется *собственным временем отключения магнитного пускателя*.

2.3 Тепловые реле

2.3.1 Общие сведения

Тепловое реле (ТР) служит для защиты электродвигателей от длительного тока перегрузки, превышающего номинальный ток двигателя. Действие теплового реле основано на принципе линейного расширения тел при нагревании. Оно срабатывает при определенной температуре чувствительного элемента и отключает электроприемник. ТР, вследствие инерционности процесса нагрева, не реагирует на мгновенное нарастание тока, подобно максимальному реле мгновенного действия. Это позволяет предотвратить ложные отключения электроприемника при случайных набросах нагрузки, в том числе от пусковых токов, имеющих кратковременный характер. В схемах управления электродвигателями переменного тока тепловые реле служат также для отключения электродвигателя при обрыве одной из фаз питающей сети. Нагревательные элементы возможно включать в две фазы электродвигателя, так как при обрыве одной из фаз ток в двух других возрастает, что приводит к срабатыванию, по крайней мере, одного теплового реле.

Тепловое реле обычно устанавливается на одной панели с контактором или в кожухе магнитного пускателя.

В качестве чувствительного элемента используются тела с различными коэффициентами линейного расширения - термобиметаллические пластинки. Нагрев элемента осуществляется электрическим током, протекающим по электрической сети к защищаемому электроприемнику. В аварийном режиме электроприемника ток увеличивается и нагрев элемента будет более интенсивным.

Ток может протекать непосредственно через элемент или протекать через специальное сопротивление, осуществляя косвенный нагрев (применяется для защиты более мощных электроприемников), также возможен комбинированный нагрев [1, разд. 7.1].

Биметаллическая пластинка состоит из двух слоев металлов с различным температурным коэффициентом расширения α_1 и α_2 и разной толщиной слоев. Слой с большим коэффициентом линейного расширения называется *термоактивным слоем* в отличие от слоя с меньшим коэффициентом линейного расширения, называемого *термопассивным*. При нагревании пластины происходит различное удлинение слоев, пластинка изгибается в сторону термопассивного слоя. При этом в зависимости от конструкции ТР, либо размыкается контакт, связанный с пластиной, либо отпускается защелка, освобождающая подпружиненный шток, который воздействует на контакты.

Времятоковая характеристика теплового реле - зависимость времени срабатывания от тока, при котором происходит срабатывание. Характеристика имеет обратозависимый от тока характер. Чем выше значение тока I , тем быстрее произойдет срабатывание реле, (контакт ТР разорвет цепь протекания тока обмотки управления контактора и его главные контакты разорвут цепь питания обмоток статора электродвигателя) и электродвигатель остановится.

$$t_{\text{ср}} = f(I). \quad (2.7)$$

По оси абсцисс она стремится к номинальному току ТР (рис. 2.4). Обычно зависимость (2.7) выражают через кратность тока по отношению к номинальному току теплового реле m :

$$m = I / I_{\text{нтр}}. \quad (2.8)$$

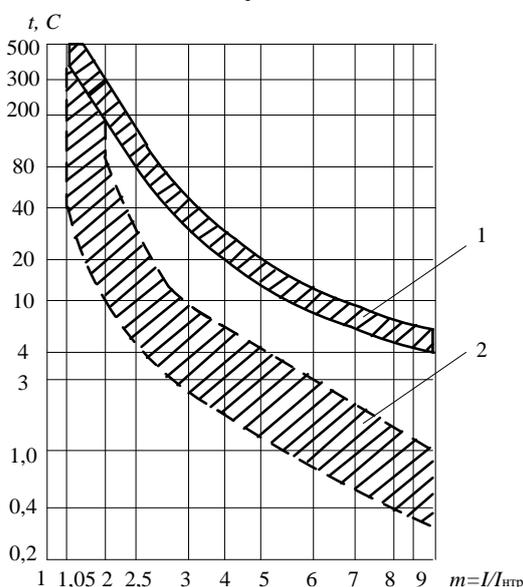


Рис. 2.4. Времятоковая характеристика срабатывания электротеплового реле с холодного (1) и нагретого (2) состояния

Под номинальным током теплового реле $I_{\text{нтр}}$ (ток несрабатывания) понимается такой ток, длительное протекание которого через реле не

приводит к срабатыванию его при заданной неизменной температуре окружающей среды.

Тепловые реле, защищающие электрические машины от перегрузок, должны иметь определенные времятоковые характеристики, отвечающие следующим основным требованиям:

- 1) время срабатывания теплового реле должно быть таким, в течение которого перегрев защищаемой машины не превысит допустимой величины;
- 2) время срабатывания теплового реле не должно быть слишком мало, с тем, чтобы полнее использовать перегрузочную способность защищаемой машины;
- 3) обеспечивать прямой пуск от сети асинхронного электродвигателя.

Для надёжной защиты электродвигателя от перегрузок необходимо совпадение времятоковых характеристик $t_{cp} = f(I)$ теплового реле и зависимости времени допустимого нагрева защищаемой установки от величины протекающего тока $t_x = f(I)$. При этом постоянные времени нагрева реле T_p и электродвигателя T_m должны быть близки. На рис. 2.5 показан случай надёжной защиты: пунктирная кривая 2 времени срабатывания теплового реле идет ниже характеристики времени допустимого нагрева защищаемого электродвигателя (имеется в виду допустимый нагрев электродвигателя при токах, превышающих номинальный). Обычно существующие тепловые реле имеют $T_p < T_m$ за счет отличных друг от друга материалов и масс двигателя и теплового реле. Этому условию соответствует кривая 3. В области A защита двигателя отсутствует, так как $t_{cp} > t_x$, в области B , наоборот, защита срабатывает излишне быстро, так как $t_{cp} < t_x$. Особые трудности возникают при защите вращающихся машин, работающих в повторно-кратковременных режимах, так как у них постоянная времени нагрева при работе и постоянная времени при остановке двигателя могут сильно отличаться друг от друга за счет отсутствия обдува двигателя. Поэтому тепловое реле рекомендуется для защиты двигателя, работающего в длительном режиме (не менее получаса).

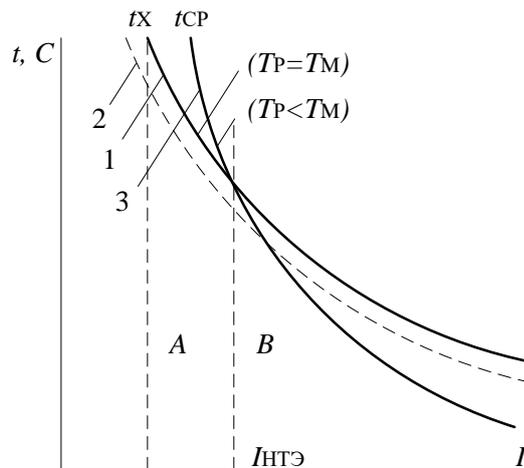


Рис. 2.5. Согласование времятоковых характеристик и идеального (2) и реального (3) теплового реле с характеристикой защищаемого объекта (1)

Существенным недостатком теплового элемента является зависимость времени его действия от температуры окружающей среды. При отсутствии специальных мер такой элемент будет отключать магнитный пускатель при температуре окружающей среды $80\text{--}90^\circ\text{C}$ даже при отсутствии тока в нагревательном элементе. Поэтому для получения благоприятной защитной характеристики необходимо стремиться, чтобы температура окружающей среды для защищаемого объекта и реле совпадали, чего не всегда можно достичь на практике. Другим путем стабилизации защитных характеристик тепловых реле является введение термокомпенсации, а также выполнение термоэлемента с высокой температурой срабатывания (более 200°C), что уменьшает зависимость работы реле от температуры окружающей среды (более подробно – ниже).

Подбор теплового реле осуществляется в соответствии с номинальным током защищаемого электроприемника I_n по условию: номинальный ток несрабатывания теплового реле должен быть не менее номинального тока электроприемника $I_{нтр} \geq I_n$. Лучшая по чувствительности защита обеспечивается при равенстве этих токов.

Рассмотрим в чем заключается сходство и различие теплового реле и электротеплового расцепителя.

Тепловое реле предназначено для защиты двигателя от перегрева при длительном протекании недопустимо больших токов перегрузки затяжного пуска, вызванного недопустимо большим снижением напряжения, асимметрией питающего напряжения.

Тепловой расцепитель - устройство, механически связанное с контактным коммутационным аппаратом, которое освобождает удерживающие приспособления и тем самым допускает размыкание

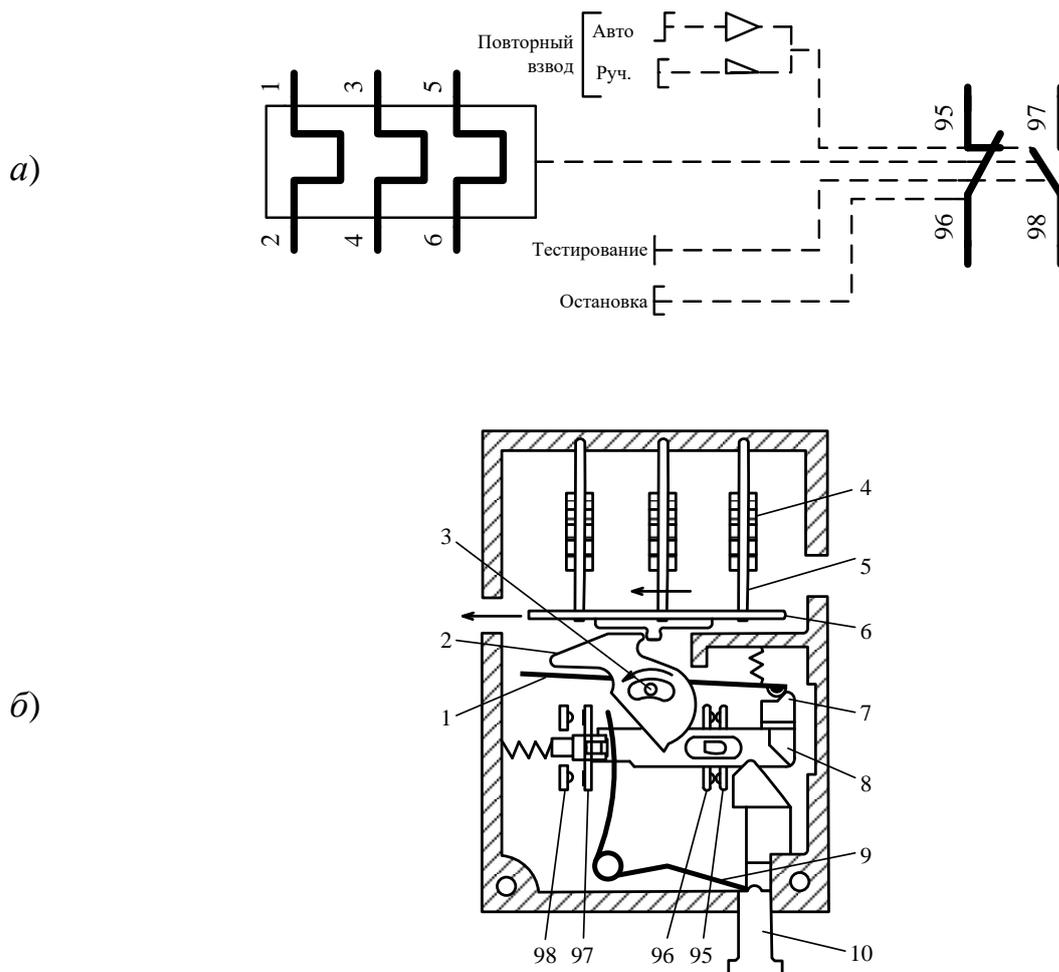
коммутационного аппарата, например автоматического выключателя, при протекании токов перегрузки или к.з., создающих опасный нагрев токоведущих элементов электрической сети.

Принцип действия тепловых реле и расцепителей основан на использовании явления изменения линейных геометрических размеров металлов при нагревании.

Чувствительный элемент теплового реле и расцепителя - биметаллическая пластина - включается последовательно в силовую цепь. Биметаллическая пластина состоит из двух металлов (термоактивного и термопассивного) с различными коэффициентами линейного расширения, соединенных по поверхности в процессе проката.

При протекании тока происходит нагревание биметаллической пластины за счет джоулевых потерь, при этом термоактивный слой удлиняется значительно больше термопассивного. Если один конец такой пластины жестко закреплен, то неравное удлинение слоев пластины вызывает ее деформацию - изгиб в сторону термопассивного слоя металла. Поскольку процесс деформации носит медленный характер (тепловая инерция), а размыкание контактов или срабатывание расцепителя должно происходить мгновенно, необходим некоторый механизм преобразования. Поэтому биметаллическая пластина должна обладать определенной жесткостью для создания необходимого усилия по приведению в действие этого механизма. Механизм преобразования может быть как простейшим в виде перебрасывающегося рычага с контактами, так и более сложным.

На рис. 2.6 представлено устройство, в котором реализован механизм преобразования действия биметаллического расцепителя на исполнительные контакты в тепловых реле типов РТЛ-1000, РТЛ-2000. Ток силовой цепи протекает по биметаллическим пластинам 5 (трехфазное исполнение). Одна сторона пластин жестко закреплена в изоляционном корпусе реле, а другая сторона упирается в подвижную изоляционную рейку 6. Для упрощения выводы внешнего подключения силовой цепи не показаны. Своим выступом рейка 6 действует на фигурный кулачок 2, который может поворачиваться вокруг оси 3. При повороте кулачок 2 воздействует на пластину рычага 1, одновременно являющегося элементом защелки 7, удерживающей подвижную систему 8 с установленными в ней контактами в фиксированном положении. На рисунке положение подвижной системы соответствует ненагруженному реле. При срабатывании реле происходит освобождение защелки рычага 1 и подвижной системы 8, которая под действием отключающей пружины 9 перемещается влево, и происходит замыкание контактов 97- 98 и размыкание контактов 95- 96 (использована электрическая маркировка рис. **Ошибка!** **Источник ссылки не найден., а).**



1- рычаг; 2 - фиксирующий кулачок; 3 - ось вращения рычага 1 и кулачка 2; 4 - дополнительный нагревательный элемент; 5- биметаллический элемент; 6 - изоляционная рамка; 7- защелка; 8-подвижная система с контактами; 9 - пружина отключающая; 10 - кнопка взвода механизма в рабочее состояние; 95- 98 - контакты

Рис. 2.6. Электрическая схема (а) и конструктивная схема (б) механизма теплового реле

Приведение реле в рабочее состояние осуществляется при воздействии на кнопку возврата 10, которая механически производит перемещение подвижной системы 8 вправо до зацепления с рычагом 1. При этом, если биметалл еще недостаточно остыл, данная операция будет неуспешной. Существуют конструкции реле с самовозвратом системы в рабочее состояние после остывания биметалла. На рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** а. изображена электрическая схема теплового реле *DeKraft* серии РТ-01. Это реле имеет дополнительный переключатель, который позволяет установить способ возврата теплового реле в исходное положение после срабатывания (повторный взвод). При ручном положении (Руч.) возврат осуществляет эксплуатирующий персонал путем воздействия на кнопку 10. При автоматическом положении (Авто) происходит самовозврат системы в рабочее состояние после остывания биметалла. Дополнительно существуют

еще две кнопки воздействия на положение электрических контактов не зависимо от теплового состояния биметаллических пластин (Тестирование, Остановка). Следует обратить внимание, что кнопка «Остановка» воздействует только на контактную группу с выводами 95 и 96. Это позволяет использовать ее при необходимости экстренной остановки электродвигателя.

Одним из существенных недостатков тепловых реле является влияние окружающей температуры на время его срабатывания.

Для снижения этого влияния рекомендуется выполнять биметаллические пластины из материала с рабочей температурой срабатывания около 200°C, значительно превышающей температуру окружающей среды 40°C, например, из хромоникелевой стали (латуни). Кроме этого, в конструкцию механизма передачи воздействия от биметалла включают еще один пассивный, не нагреваемый током нагрузки биметаллический элемент, чем и достигается компенсация изменения температуры окружающей среды. В рассматриваемом механизме реле эту функцию выполняет рычаг 1. При этом пассивный слой является нижней стороной рычага. Поэтому при увеличении температуры окружающей среды рабочие элементы биметалла 5 получают некоторую деформацию и переместят пластину 6 и, соответственно, кулачок 2, но при этом рычаг 1 тоже деформируется вниз, так что расстояние между элементами конструкции 2 и 1 не изменится.

Существуют различные способы нагрева биметаллической пластины - прямой, косвенный и комбинированный.

Прямой нагрев используется в области токов нагрузки 5 - 25 А, так как при этом мощность тепловых потерь уже достаточна для обеспечения нагрева до необходимых температур, а размеры биметаллических пластин еще не столь значительны.

Рост номинальных токов вызывает увеличение, как поперечных сечений, так и линейных размеров биметаллических пластин, что приводит к увеличению габаритных размеров всего реле. Поэтому прибегают к другому способу нагрева биметалла - косвенному. При этом ток протекает не по биметаллической пластине, а по параллельному ей участку токоведущей системы с уменьшенным сечением, расположенному настолько близко от этой пластины, чтобы создать на данном участке повышенную температуру, достаточную для нагрева биметалла за счет известных способов теплопередачи. Такое решение позволяет выполнить биметаллическую пластину оптимальных размеров, согласующихся с требованиями механизма реле.

При очень больших токах (более 200 А) вновь находит применение прямой способ нагрева биметалла, но уже вторичным током трансформатора тока, первичная обмотка которого включена последовательно в силовую контролируемую цепь.

Естественно, применение комбинированного нагрева (см. рис. 2.5, б) используется в тех случаях (малые токи нагрузки), когда не удается обеспечить создание усилий, необходимых для работы механизма реле. Тогда

сечение и линейные размеры биметаллической пластины выбираются так, чтобы выполнить требования к величине необходимой деформации и усилию для срабатывания механизма реле, а недостающая мощность джоулевых потерь обеспечивается дополнительным элементом 4, имеющим большое электрическое сопротивление и включенным последовательно с биметаллом (конструктивно - например, в виде навитой спирали, максимально охватывающей биметаллическую пластину).

Электрическая изоляция спирали и пластины друг от друга может обеспечиваться как за счет дополнительно проложенного между ними твердого диэлектрика, так и за счет создания на поверхности нагревателя окисной пленки, имеющей электрическую прочность, достаточную для данных условий.

Защитные характеристики тепловых реле и расцепителей представлены на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** В табл. 2.1. приведены ограничения значений времен срабатывания для разных зон перегрузки стандартизованных классов расцепления тепловых реле и расцепителей из холодного состояния в соответствии с ГОСТ Р 50030.4.1-2002.

Разные классы реле и расцепителей перегрузки (10А, 10, 20, 30) необходимы для возможно лучшего согласования защитной характеристики реле с перегрузочной характеристикой защищаемого двигателя.

Обычно в каталогах представляются защитные характеристики расцепителей при нагреве как из холодного, так и из нагретого состояния, которые, расположены ниже характеристики, соответствующей холодному состоянию.

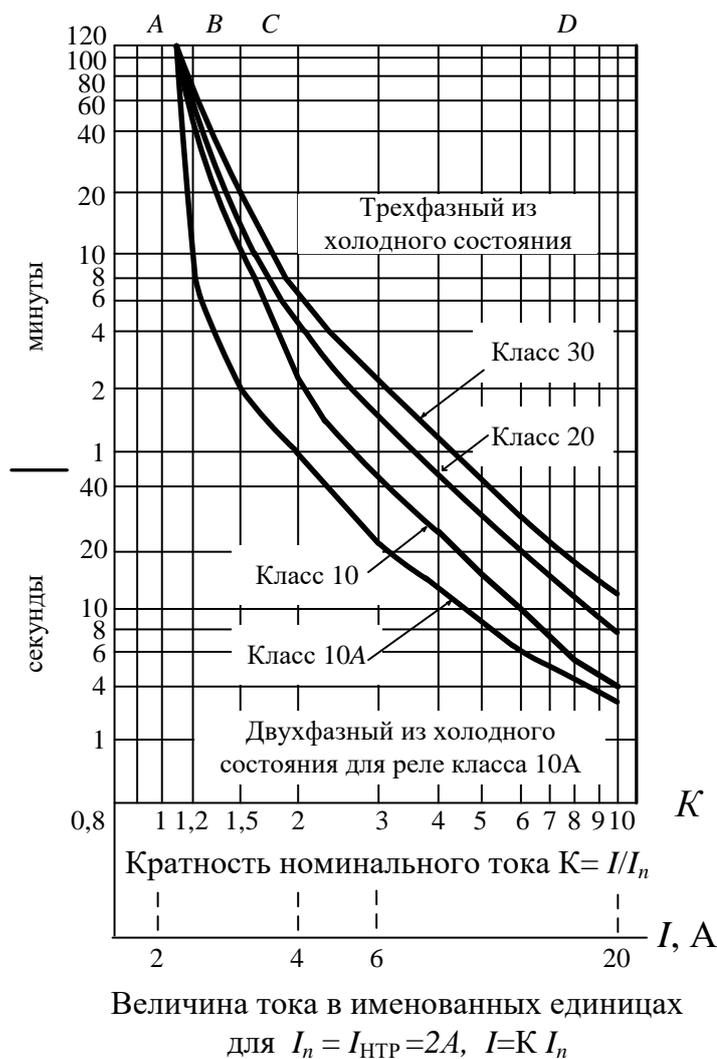


Рис. 2.8. Характеристики расцепления тепловых реле и расцепителей для нагрева при трехфазном (трехполюсном) режиме нагрузки из холодного состояния

В случае обрыва одной из фаз срабатывание реле будет происходить быстрее, чем при трехполюсной работе. На рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** пунктирной линией приведена характеристика реле класса 10А, она располагается ниже характеристики соответствующей трехфазному режиму.

Как следует из принципа действия теплового реле, несмотря на использование температурной компенсации и различные классы исполнения реле, невозможно строго согласовать защитную характеристику реле с перегрузочной характеристикой двигателя.

Такое согласование может быть достигнуто при использовании позисторной защиты. *Позисторы* - это терморезисторы из сегнетоэлектрических растворов на основе титаната бария, электрическое сопротивление которых на определенном небольшом интервале температур резко изменяется. Позисторы конструктивно встраиваются непосредственно в статорную обмотку двигателя в процессе ее изготовления, что позволяет

контролировать непосредственно температуру нагрева обмотки в режиме перегрузки. Терморезисторы включаются на вход электронного реле (см. [1, том 2]), управляющего работой обычного электромеханического реле, включенного своим размыкающим контактом последовательно с обмоткой контактора, коммутирующего цепь статора двигателя.

Таблица 2.1

Классы расцепления тепловых реле и тепловых расцепителей для защиты электродвигателей от перегрузки

Зоны перегрузки	Класс расцепления	Уровень (кратность) перегрузки, I/I_n	Время срабатывания ($t_{сраб}$)
A	Все классы	1,0...1,05	Не ранее 2 ч
B	Все классы	1,2	Менее 2 ч
C	10 A	Более 1,5	Менее 2 мин
	10		Менее 4 мин
	20		Менее 8 мин
	30		Менее 12 мин
D	10A	7,2	2... 10 с
	10		4... 10 с
	20		6...20 с
	30		9...30 с

Расцепитель, в отличие от теплового реле механически связан с контактным коммутационным аппаратом. Возможны следующие конструктивные исполнения расцепителей: мгновенного действия и с задержкой времени.

Чувствительный элемент расцепителя приводится в действие при достижении уставки срабатывания - определенного значения контролируемого параметра (тока, напряжения, мощности).

Типичным примером максимального расцепителя тока с обратозависимой выдержкой времени является биметаллический расцепитель, механизм которого аналогичен механизму теплового реле, рассмотренного ранее (см. рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

В любых типах расцепителей (электромагнитных, тепловых и механических) для перевода их в неустойчивое состояние обязательно создание определенных усилий при перемещении на соответствующее расстояние для снятия с защелки, удерживающей механизм в устойчивом состоянии, и нарушения механической связи привода и контактной системы.

2.3.2 Технические характеристики тепловых реле и магнитных пускателей

Пускатели серии ПМЛ комплектуются ТР серий РТЛ, и ПМА – РТТ. Тепловые реле серий ТРН и ТРП сняты с производства, но еще находятся в эксплуатации.

Технические характеристики МП и ТР приведены в табл. 2.2 ÷ 2.5.

Таблица 2.2

Технические характеристики электромагнитных пускателей серии ПМЛ и тепловых реле серии РТЛ ($U_N = 380 В$)

Величина	Номин. ток, А	Мощность, потребляемая катушкой при включении/удержании, В·А	Пределы регулировки тока несрабатывания, А
1	10	84/9,5	0,1 ÷ 0,17 – 7 ÷ 10
2	25	115/9,5	7 ÷ 10; 9,5 ÷ 14; 13 ÷ 19; 18 ÷ 25
3	40	235/25	23 ÷ 32; 30 ÷ 41
4	63	235/25	30 ÷ 41; 38 ÷ 52; 47 ÷ 64; 54 ÷ 74
5	80	380/36	54 ÷ 74; 63 ÷ 85
6	125	510/46	75 ÷ 105; 90 ÷ 125
7	200	800/57	90 ÷ 125; 115 ÷ 160; 145 ÷ 200

Примечание: номинальный ток блок-контактов – 10А; число циклов срабатывания при номинальном токе не менее – $2 \cdot 10^6$ (исп. А); время срабатывания (вкл./откл.), мс – 19 ÷ 63; номинальное напряжение катушки – 220, 380, 660В переменного тока; номинальное напряжение изоляции – 660В.

На рис. 2.6 приведена принципиальная схема управления АД с помощью МП, тепловые реле которых подключены посредством трансформаторов тока.

Таблица 2.3

Характеристики приставок серии ПКЛ

Тип ПКЛ	Количество контактов		Исполнение пускателей (неревверсивные)	
	замыкающих	размыкающих	IP00, IP54 (без кнопок)	IP54 (с кнопками)
ПКЛ – 1104	1	1	+	+
ПКЛ – 2004	2	0	+	+
ПКЛ – 2204	2	2	+	–
ПКЛ – 4004	4	0	+	–
ПКЛ – 0404	0	4	+	–

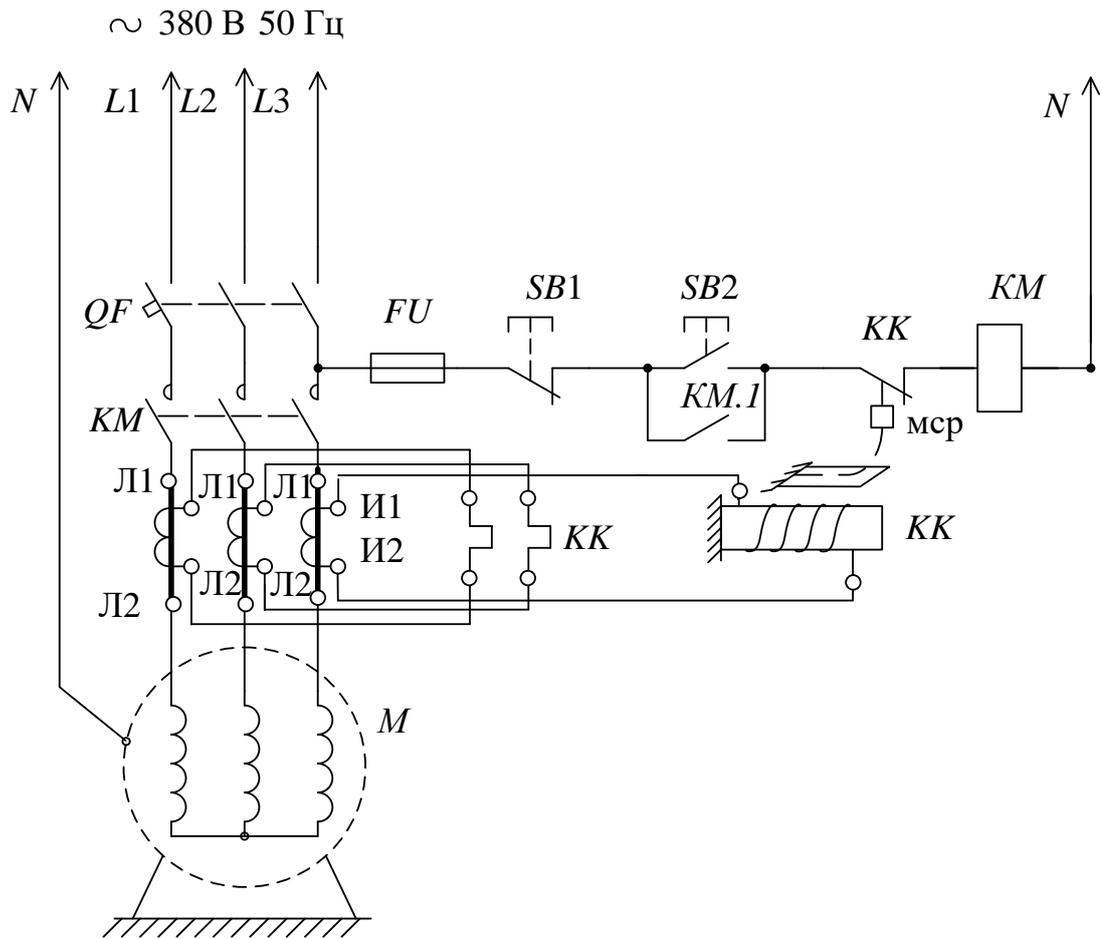


Рис. 2.6. Принципиальная схема управления АД с помощью магнитного пускателя, тепловые реле которого подключены посредством трансформаторов тока

Таблица 2.4

Характеристики приставок серии ПВЛ

Тип ПВЛ (имеют 1з. ÷ 1р.)	Диапазон выдержки времени, с			
	при включении		при отключении	
	0,1 ÷ 30	10 ÷ 180	0,1 ÷ 30	10 ÷ 180
ПВЛ – 11	–	–	+	–
ПВЛ – 12	–	–	–	+
ПВЛ – 21	+	–	–	–
ПВЛ – 22	–	+	–	–

В Приложении 3 приведено описание лабораторной работы по изучению конструкции и испытанию трансформаторов тока.

На рис. 2.7 приведена однолинейная схема подключения электродвигателей к электрической сети и многолинейная схема для одного из двигателей.

Таблица 2.5

Технические характеристики электромагнитных пускателей серии ПМА и тепловых реле серии РТТ ($U_H = 380 В$)

Величина	Ном. ток, А	Мощность, потребляемая катушкой при включении/удержании, В·А	Макс. мощн. АД кВт	Средний ток теплового реле, А	Тип реле
3	40	200/20	18,5	12,5;16;20;25;32;40	РТТ-2П
4	63	280/40	30	32;40;50;63	РТТ-2П
4	80	280/40	30	32;40;50;63	РТТ-2П
5	100	100/45	45	50;63;80;100	РТТ-3П
6	100	530/60	75	80;100;125;160	РТТ-3П

Примечание: номинальный ток блок-контактов пускателей 3÷5 величины – 6,3А; 6 – 10А; число циклов срабатывания при номинальном токе, не менее – $2 \cdot 10^6$ (исп. А); время срабатывания (вкл./откл.), не более, мс – 25; номинальное напряжение катушки – 220, 380, 660В переменного тока; номинальное напряжение изоляции – 660 В.

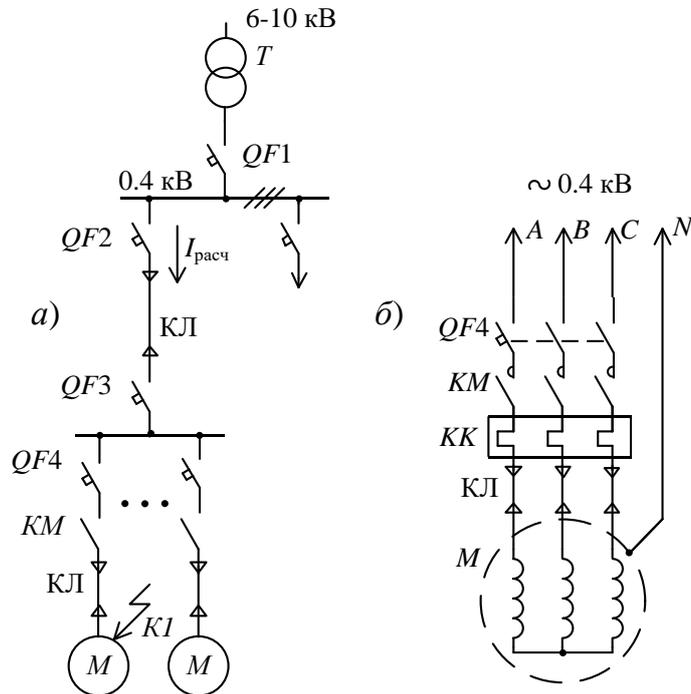


Рис. 2.7. Однолинейная схема подключения электродвигателей к электрической сети (а) и многолинейная схема для одного из двигателей (б)

Пускатели серии ПМЛ открытого исполнения на токи 10 – 63А допускают установку одной приставки ПКЛ или пневмоприставки ПВЛ. Пневматическая приставка позволяет создать замедление замыкания

(размыкания) вспомогательных контактов как при включении пускателя, так и при его отключении. Их характеристики приведены в таблицах 2.3, 2.4.