

Реле защиты электродвигателя MiCOM P220

Руководство по применению



СОДЕРЖАНИЕ

1. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА УСТАВКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ	4
1.1 Асинхронные двигатели	4
1.1.1 Общие вопросы	4
1.1.2 Тепловая модель	4
1.1.3 Режимы пуска	5
1.1.4 Короткие замыкания	6
1.1.5 Нагрузочные режимы	6
1.1.6 Зависимость нагрузочной способности двигателя от высоты над уровнем моря и температуры	6
1.2 СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ	7
1.2.1 Контактор с предохранителями или выключатель	7
1.2.2 Соединение фазных ТТ по схеме фильтра нулевой последовательности или трансформатор тока нулевой последовательности	7
1.2.3 Выбор номинального вторичного тока ТТ (1А/5А) и сечения вторичных цепей 8	
1.2.4 Размерность фазных трансформаторов тока	9
1.3 ПОДБОРКА ДАННЫХ	10
2. УСТАВКИ	10
2.1 МЕНЮ 'PROTECTION' (УСТАВКИ)	10
2.1.1 Защита от тепловой перегрузки [49] (Thermal overload)	10
2.1.2 Защита при коротком замыкании [50/51] ('Short Circuit')	16
2.1.3 Защита от замыканий на землю [50N/51N] ('Earth fault')	17
2.1.4 Защита от несимметрии [46] (Unbalance)	19
2.1.5 Затяжной пуск [48] (Excessive long start)	20
2.1.6 Заторможенный ротор [51LR/50S] (Locked rotor)	21
2.1.7 Потеря нагрузки [37] (Loss of load)	22
2.1.8 Термодатчики (RTD) [49/38] и терморезисторы [49]	22
2.2 МЕНЮ АВТОМАТИКА (АУТОМАТ. CTRL)	23
2.3 ОГРАНИЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПУСКОВ В ТЕЧЕНИИ ЗАДАННОГО ВРЕМЕНИ [66]	23
2.3.1 Время между двумя успешными пусками [66]	24
2.3.2 Самозапуск	24
3. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ЗАЩИТ	27
3.1 ДАННЫЕ СЕТИ	27
3.2 ДАННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	27
3.3 ЛИСТ УСТАВОК:	28
4. СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ	34
4.1 ЛОГИЧЕСКАЯ СЕЛЕКТИВНОСТЬ	34
4.2 РАЗРЕШЕНИЕ САМОЗАПУСКА – ОТКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗКИ ПРИ ПЕРЕРЫВАХ ПИТАНИЯ	37
4.3 ГРУППЫ УСТАВОК	39
5. ЛИТЕРАТУРА	41
6. ПРИЛОЖЕНИЕ А: РЕЖИМЫ РАБОТЫ	42
7. ПРИЛОЖЕНИЕ В: ИНФОРМАЦИЯ НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ВЫБОРА УСТАВОК РЕЛЕ	42

1. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА УСТАВКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

1.1 Асинхронные двигатели

1.1.1 Общие вопросы

Большинство электродвигателей используемых в промышленности являются асинхронными двигателями и поэтому в настоящем руководстве большая часть вопросов применения микропроцессорного устройства защиты посвящена электродвигателям данного типа. Однако реле MiCOM P220 являясь многофункциональным устройством может быть также использовано для защиты синхронных двигателей большой мощности. В этом случае, необходимо руководствоваться принципами выполнения защиты для синхронных генераторов поскольку характеристики последних во многом сходны с характеристиками синхронных двигателей.

1.1.2 Тепловая модель

Сложность конструкции, многочисленные варианты применения, разнообразие ненормальных режимов и видов возможных повреждений делают оценку теплового состояния электродвигателя достаточно сложной. Это объясняется сложностью математического моделирования тепловых характеристик электрической машины.

Основными причинами повреждения электродвигателей являются короткие замыкания и перегрев обмоток. В отношении перегрева представляется возможным моделировать повышение температуры в электродвигателе.

- ◆ При нагревании протеканием постоянного (неизменного во времени) тока, температура двигателя изменяется по аналогии с зарядом конденсатора постоянным напряжением приложенным через резистор. Приложенное напряжение пропорционально квадрату тока. Постоянная времени для этого случая будет $\tau = RC$.

Следовательно тепловая модель объекта должна учитывать тот факт, что температура электродвигателя пропорциональна квадрату протекающего тока.

$$\text{ТЕМПЕРАТУРА} = K * (I_R)^{2*}(1-e^{-t/\tau})$$

Где

I_R = ток протекающий в двигателе ведущий к повышению температуры до T_{max}

Для значения тока величиной "I", температура составляет

$$\text{ТЕМПЕРАТУРА} = K * (I)^{2*}(1-e^{-t/\tau})$$

Отсюда следует что:

Время "t" в течении которого двигатель может работать в перегрузочном режиме с током "I" составляет:

$$t = \tau * \text{Ln} [1 / \{ 1 - (I_R / I)^2 \}]$$

Для трех различных температурных режимов используются три различные постоянные времени:

- Режим пуска (ток более чем в два раза превышает уставку тока пуска защиты от теплового перегруза I_{θ}). В данном режиме температура обмотки статора повышается в режиме без распространения по слоям. В этом режиме также быстро растет температура ротора.

- Нормальный режим или режим умеренной перегрузки (значение тока колеблется от 0 до $2 \cdot I_0$). Происходят медленные изменения температуры обмоток статора и ротора за счет тепловой диффузии.
 - Режим остывания (электродвигатель остановлен). Это более медленный процесс в сравнении с нагревом, поскольку воздушный зазор и вентиляционные каналы не продуваются вентилятором установленным на роторе.
- ♦ Тепловая модель объекта для расчета эквивалентного тока I_{eq} использует квадрат тока прямой последовательности и произведение квадрата тока обратной последовательности на коэффициент K_e .

$$I_{eq} = \sqrt{I_1^2 + K_e \times I_2^2}$$

ПРИМЕЧАНИЕ: Наличие напряжения обратной последовательности на зажимах электродвигателя вызывает пульсирующий ток в роторе с частотой 2ω , что ведет к существенному перегреву ротора. Включение в уравнение коэффициента K_e позволяет учесть дополнительный нагрев от ротора двигателя.

Составляющая обратной последовательности может быть вызвана:

- несимметрией нагрузкой трех фаз
- наличием внешнего несимметричного повреждения
- потеря питания по одной или двум фазам.

1.1.3 Режимы пуска

Возможные варианты пуска асинхронных двигателей:

- Прямое подключение к питающей сети
- Переключение схемы обмоток звезда – треугольник
- Автотрансформаторный пуск
- Жидкостное пусковое устройство
- Включение дополнительных внешних резисторов в ротор
- Частотный пуск
- ...

Режимы пуска определяются требованиями по пусковому моменту и ограничениями по пусковому току.

В зависимости от вида пуска, величина пускового тока изменяется в широких пределах и может также принимать нулевые значения (например в момент переключения схемы соединения обмоток из режима пуска в нормальный). Следовательно рекомендуется продолжительностью режима пуска считать все время до наступления устойчивого значения тока.

Продолжительность пуска определяется как характеристиками электродвигателя так характером нагрузки, и, следовательно, не может быть рассчитана только по параметрам электрической машины. Для иллюстрации к сказанному, можно рассмотреть следующее уравнение:

$$t_d = J \times \frac{2\pi N}{60} \times \frac{1}{C_{am}}, \quad \text{где}$$

- t_d : время пуска

- J: момент инерции системы «Нагрузка – Эл. Двигатель» измененный на валу двигателя, в кгм²
- N: скорость вращения, в об/мин
- Cam: средний момент ускорения, в Нм

Пусковой ток зависит от характеристик электродвигателя и вида пуска (прямое включение в сеть или смягченный пуск при использовании различных пусковых устройств).

- В случае прямого подключения электродвигателя к питающей сети (100% напряжения прикладываются к выводам электродвигателя) пусковой ток может иметь значения достигающие 10-кратного тока по отношению к номинальному. Однако, типовым средним значением является 5-кратный ток.
- В режиме «мягкого» пуска ток может оставаться на уровне номинального значения. Однако следует помнить что в режимах самозапуска (вызванных перерывами питания) ток потребляемый электродвигателем будет близким к току прямого пуска электродвигателя. Это необходимо учитывать при выборе уставок функций “Locked rotor” (Заторможенный ротор) или “Short-circuit” (Короткое замыкание).

1.1.4 Короткие замыкания

В случае возникновения коротко замыкания вблизи двигателя, электродвигатель также подпитывает короткое замыкание за счет преобразования кинетической энергии в электрическую энергию. Продолжительность подпитки от двигателя обычно не продолжается более нескольких десятых секунды, за исключением высокоинерционных двигателей, которые могут подпитывать короткое замыкание в течение нескольких секунд. В первый момент времени величина этого тока может быть сопоставима с величиной пускового тока. Следовательно, уставки функций “Locked rotor” (Заторможенный ротор) или “Short-circuit” (Короткое замыкание), должны быть не только отстроены от режимов самозапуска, но также обеспечивать не срабатывание данных функций от тока подпитки КЗ протекающего от двигателя.

1.1.5 Нагрузочные режимы

Категории нагрузочных режимов:

- *Продолжительный номинальный*
- *Кратковременный номинальный*
- *Повторно-кратковременный номинальный*

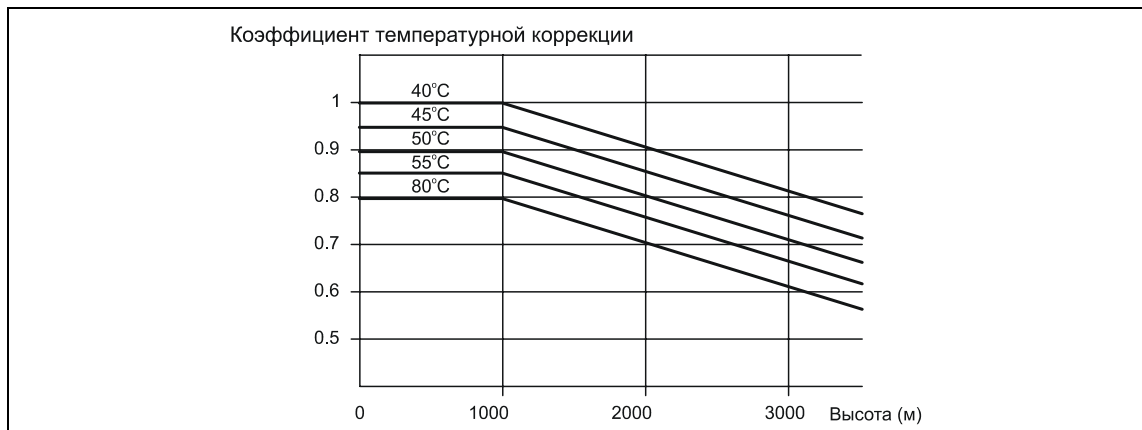
Производители электрических двигателей увеличивают размерность двигателя в зависимости от нагрузочного режима двигателя. В для каждого из возможных нагрузочных режимов имеются ограничения по максимальному количеству пусков двигателя в течении одного часа (или другими словами, электродвигатель способен выдерживать больше или меньше количество пусков в зависимости от его типоразмера).

1.1.6 Зависимость нагрузочной способности двигателя от высоты над уровнем моря и температуры

С увеличением высоты над уровнем моря, воздух становится все более разреженным, что снижает эффективность воздушного охлаждения электродвигателя. Вследствие этого должен применяться коэффициент коррекции являющийся функцией от высоты над уровнем моря.

Аналогичным образом увеличение температуры окружающего воздуха ухудшает охлаждение электродвигателя. Это фактор также должен быть учтен путем использования коэффициента коррекции.

Ниже приведен график понижения размерности двигателя в зависимости от высоты над уровнем моря на которой работает электродвигатель.



В MiCOM P220 выполняется расчет коэффициента снижения размерности электродвигателя. Коррекция выполняется по линейному закону в пределах от 40 °C (коэффициент коррекции =1) до 65 °C (коэффициент коррекции = 0,75).

Для этого реле выполняет измерение температуры окружающей среды при помощи внешних датчиков температуры (терморезисторы). Эти датчики обычно располагают вблизи забора охлаждающего воздуха.

1.2 Схема включения

1.2.1 Контактор с предохранителями или выключатель

Большинство электродвигателей, особенно маломощных, подключаются к питающей сети через контакторы или ключи с предохранителями. Коммутационная способность этих устройств может оказаться недостаточной для размыкания тока короткого замыкания, который может десятикратно превышать значения номинального тока электродвигателя. Соответственно, если ток превышает максимальной ток размыкаемый контактором, то отключение повреждения с помощью контактора должно быть заблокировано. Попытка отключения КЗ с помощью контактора приведет постоянному горению дуги на размыкающихся контактах контактора и как следствие ведет к повреждению последнего. Для предотвращения повреждения контактов контактора или ключа необходимо использовать предохранители в качестве резервной защиты при протекании токов превышающих их коммутационную способность.

Проблемы не существует если используется силовой выключатель.

1.2.2 Соединение фазных ТТ по схеме фильтра нулевой последовательности или трансформатор тока нулевой последовательности.

Ток нулевой последовательности сопровождающий замыкания на землю может быть получен путем:

- Соединением трех фазных трансформаторов тока для суммирования вторичных токов трех фаз.

- Использование трансформатора тока нулевой последовательности с магнитным суммированием фазных токов в сердечнике трансформатора охватывающем три фазных проводника.

В сети с высокоимпедансным заземлением нейтрали или сети с изолированной нейтралью предпочтительнее использование ТТ нулевой последовательности, поскольку это позволяет избежать небаланса тока нулевой последовательности по причине несимметричного насыщения фазных ТТ и полного насыщения одного из них, например, при пуске. Пусковые токи могут достигать значений в несколько раз превышающих номинальные токи электродвигателей (обычно порядка $5 I_n$ дв.). Кроме этого насыщение трансформатора будет еще больше при наличии остаточной намагниченности сердечника трансформатора тока.

Проблема решается выбором соответствующей уставки защиты от замыкания на землю и подбором соответствующего трансформатора, при этом рекомендуется использование ТТ с магнитным суммированием потоков.

Режим заземления	Предпочтительное решение	Альтернативное решение
Глухозаземленная нейтраль	3 ТТ (+ стабилизирующий резистор)	3 ТТ + ТТ нулевой последовательности
Импедансное заземление нейтрали (например, ограничение тока до 30А путем использования резистора)	3 ТТ + ТТ нулевой последовательности	3 ТТ (+ стабилизирующий резистор), или 2ТТ + ТТ нулевой последовательности (эффективное ценовое решение)
Изолированная нейтраль	3 ТТ + ТТ нулевой последовательности	2ТТ + ТТ нулевой последовательности (эффективное ценовое решение)

1.2.3 Выбор номинального вторичного тока ТТ (1А/5А) и сечения вторичных цепей

Трансформаторы тока (фазные ТТ или ТТ нулевой последовательности) должны питать следующих потребителей энергии:

- Внутренне сопротивление (определяется конструкцией ТТ)
- Сопротивление кабелей вторичных цепей (сечения $2,5\text{мм}^2$, 4мм^2 , 6мм^2 .)
- Подключенную нагрузку (одно или несколько реле защиты, и т.п.)

Если устройство защиты располагается на значительном удалении от ТТ, то нагрузка кабелей вторичных цепей должна также быть учтена.

Например:

- Реле удалено от ТТ на расстояние 200м
- Вторичный номинальный ток 5А
- Соединительные кабели: медь, сечением $2,5\text{мм}^2$

Расчетное потребление кабеля составляет:

- Длина жил кабеля = $2 \times 200\text{м} = 400\text{м}$
- Сопротивление кабеля $R = 0,4 \text{ км} \times 18/2,5\text{мм}^2 = 2,9 \text{ Ом}$
- Следовательно, потери в кабеле = $2,9 \text{ Ом} \times (5\text{А})^2 = 73 \text{ Вт}$

Если выбран номинальный вторичный ток 1А, то потери в кабеле составят:

- Сопротивление кабеля $R = 0,4 \text{ км} \times 18/2,5 \text{ мм}^2 = 2,9 \text{ Ом}$
- Потери в кабеле $= 2,9 \text{ Ом} \times (1\text{А})^2 = 2,9 \text{ Вт}$

Следовательно если трансформаторы тока располагаются на значительном удалении от реле, то рекомендуется использовать трансформаторы тока с номинальным током 1А для снижения потерь в контрольных кабелях и уменьшения нагрузки на ТТ,

1.2.4 Размерность фазных трансформаторов тока

Потребление на зажимах входа фазного тока реле MiCOM P220 составляет:

- $\leq 0,3 \text{ ВА}$ при $I_n = 5\text{А}$
- $\leq 0,025 \text{ ВА}$ при $I_n = 1\text{А}$

Правило требующее выполнение при анализе насыщения ТТ:

- Уставка защиты от короткого замыкания должна быть задана не выше 90% от предельного значения перегрузки ТТ. В таком случае гарантируется отключение при токах вплоть до 50-кратного значения тока насыщения без апериодической составляющей.

Выбор фазных ТТ:

- Применять только для напряжений не более 20кВ
- R_f = полное сопротивление соединительных проводов (+ другая возможная нагрузка на ТТ), в Ом
- I_n = номинальный вторичный ток ТТ и реле (1А или 5А)
- I_{cc} = максимальный симметричный ток КЗ вторичной обмотки ТТ (в амперах)

Фазный ТТ	Номинальный ток	(IEC 185)		Примечание
		Нагрузка в ВА	Класс точности	
Коммутационный аппарат				
Контактор или ключ	5А	$\geq(0,3 + R_f \times I_n^2)$	5P10	
+ предохранитель	1А	$\geq(0,025 + R_f \times I_n^2)$	5P10	
Выключатель	5А	$\geq(0,3 + R_f \times I_n^2)$	5P К где $K \geq \left(\frac{I_{cc}}{50 \times I_n} \right)$	Уставка токовой отсечки: $\leq 0,9 \times K \times I_n$
	1А	$\geq(0,025 + R_f \times I_n^2)$	5P К где $K \geq \left(\frac{I_{cc}}{50 \times I_n} \right)$	

ПРИМЕЧАНИЕ: Из экономических соображений вместо ТТ класса точности 5% (5P) могут применяться ТТ класса точности 10% (10P), однако следует иметь ввиду, что при этом с меньшей точностью работают функции защиты от теплового перегруза и защиты по несимметрии. Это можно допустить если электродвигатель выбран с запасом или не используется в наиболее тяжелых нагрузочных режимах.

1.3 Подборка данных

Прежде чем выполнять задание уставок реле, необходимо располагать всеми параметрами двигателя приведенными в приложении.

2. УСТАВКИ

2.1 Меню 'PROTECTION' (УСТАВКИ)

2.1.1 Защита от тепловой перегрузки [49] (Thermal overload)

Перегрузка двигателя может привести к повышению температуры обмотки статора выше предельных значений допустимых для изоляции обмоток. Это чаще всего не ведет к немедленному возгоранию, но, как известно, перегрузки двигателя приводят к ускоренному старению изоляции. Благодаря относительно высокой теплоемкости асинхронного двигателя, нечастые и не продолжительные перегрузки не ведут к повреждению последнего. Однако продолжительные перегрузки даже с относительно небольшим превышением номинального тока могут вести к ускоренному старению и выходу из строя изоляции.

Кроме этого несимметричная нагрузка или несимметрия питающей сети могут служить причиной появления тока обратной последовательности что также дополнительно нагревает ротор (более подробно явление описано в разделе защиты по току обратной последовательности).

Температура двигателя изменяется по экспоненциальному закону в зависимости от тока. Аналогичным образом происходит снижение температуры. Для обеспечения защиты от длительных перегрузочных режиме в реле предусмотрена соответствующая функция защиты с тремя постоянными времени для возможно точного моделирования теплового состояния электродвигателя при перегрузке и остывании.

Тепловая стойкость электрической машины определяется нагревом обмоток предшествующим их перегрузу. Тепловая модель разработана таким образом чтобы принимать во внимание граничные состояния такие как «холодное» состояние (нулевой ток предшествующий перегрузке) и «горячее» (номинальный ток предшествующий перегрузке). С нулевым предшествующим током реле работает по характеристике из «холодного» состояния. Если же режиму перегрузки предшествовала работа в режиме номинальной нагрузки, т.е. обмотки находились в прогретом состоянии, реле работает по «горячей» характеристике. Следовательно в режимах нормальной работы, реле моделирует тепловое состояние электродвигателя между этими двумя граничными состояниями, если не запрограммировано другим образом.

Следует отметить, что защита от теплового перегруза контролирует тепловое состояние не только статора но и ротора. Такая защита может быть реализована различными способами:

- 1: прямое измерение температуры с использованием термодатчиков (см. соответствующий параграф)
- 2: не прямое (косвенное) измерение температуры по данным измерения тока
- 3: использование обоих этих принципов

В конструкции P220 используются все три принципа перечисленные выше. №1 описан ниже в параграфе Защита от перегрузки с использованием термодатчиков. №2 и №3 описаны в данном параграфе.

В случае незначительных перегрузок и для случая умеренных нагрузочных режимов, для обеспечения защиты электродвигателя достаточно использовать измерения тока статора. Эта защита может быть выполнена на принципе ступени максимального тока с независимой или зависимой характеристикой срабатывания. Орган тепловой защиты получающий информацию о токе имеет постоянную времени близкую к тепловой постоянной электродвигателя. Это позволяет выполнить тепловую модель теплового состояния изоляции в реальном времени. Этот тип защиты исходит из того что температура стабильного (устойчивого) режима пропорциональна квадрату тока потребляемого двигателем. Кроме это защита учитывает исходное тепловое состояние электродвигателя в необходимых случаях используя холодную или горячую характеристики.

Эквивалентный ток защиты от тепловой перегрузки рассчитывается по уравнению: $I_{eq} = \sqrt{I_1^2 + K_e \times I_2^2}$, где K_e – регулируемый параметр используемый для учета нагрева вызванного током обратной последовательности, при расчете теплового состояния.

Исходя из эквивалентного тока защиты от тепловой перегрузки каждые 5 периодов рассчитывается тепловое состояние θ (каждые 100мс для сети 50Гц или 83,3 мс для сети 60Гц) по следующей формуле.

$$\theta_{i+1} = (I_{eq} / I\theta)^2 \times [1 - e^{(-t/T)}] + \theta_i \times e^{(-t/T)}, \text{ где}$$

θ_i : начальное тепловое состояние.

Если ток потребляемый двигателем в нормальном режиме меньше чем уставка тока тепловой защиты [$I\theta$], и обычно меньше чем номинальный ток или ток максимальной нагрузки, следовательно рассчитанное тепловое состояние будет менее 100% и следовательно защита не действует на отключение.

Если ток потребляемый двигателем превышает уставку тока тепловой защиты [$I\theta$], то в этом случае тепловое состояние со временем достигнет и превысит значение 100% и будет иметь место отключение (если уставка на отключение задана 100%).

В выбранной тепловой модели, время отключения зависит от теплового состояния предшествовавшего перегрузке. Для расчета времени отключения по достижению значения 100%, защита от теплового перегруза использует следующее уравнение:

$$t = T \times \ln \left[\frac{K^2 - \theta_i}{K^2 - 1} \right]$$

Уравнение действительно при условии что величина тока остается неизменной в течении определенного интервала времени.

Обозначения используемые в формуле:

– T = тепловая постоянная времени, зависящая от отношения $I_{eq}/I\theta$:

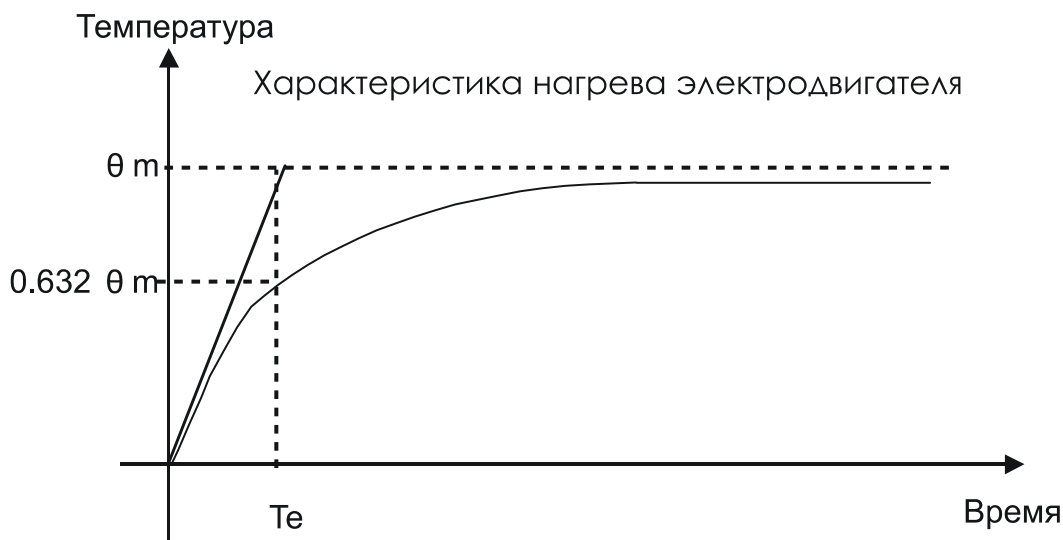
$T = T_{e1}$ если $0 < I_{eq} \leq 2 * I\theta$ (кривая перегрузки)

$T = T_{e2}$ если $I_{eq} > 2 * I\theta$ (кривая режима пуска)

$T = T_r$ если $I_{eq} = 0$ (кривая охлаждения – двигатель остановлен)

ПРИМЕЧАНИЕ: информация от том что $I_{eq} = 0$ поступает в реле через оптовход №1, который получает информацию «Контактор в положении ОТКЛ.»

- $I\theta$ = уставка тока тепловой защиты
- $K = I_{eq}/I\theta$
- θ_i = начальное тепловое состояние электродвигателя (например, тепловое состояние 50%, что соответствует $\theta_i = 0,5$)
- Тепловая постоянная времени нагрева $Te1$ может быть определена по характеристике нагрева двигателя как показано на рисунке ниже



Характеристика описывается следующим уравнением:

$$\theta(t) = \theta_m \times (1 - e^{-t/Te})$$

Где:

θ_m = максимальная температура после стабилизации теплообмена в $^{\circ}\text{C}$

Te = постоянная времени нагревания

t = истекшее время

Постоянная времени нагревания определяется достаточно просто. Если электродвигатель работает с номинальным током в течении бесконечно длительного времени от достигнет 63,2% от своей конечной температуры ($\theta_T = 63,2\% \theta_m$) по истечении времени равного Te .

Тогда кривая охлаждения электродвигателя будет описываться уравнением:

$$t = Tr \times \ln \left[\frac{K^2}{(K^2 - 1)} \right]$$

При этом уравнение описывающее тепловое состояние при охлаждении:

$$\theta = K^2 (1 - e^{-t/Tr})$$

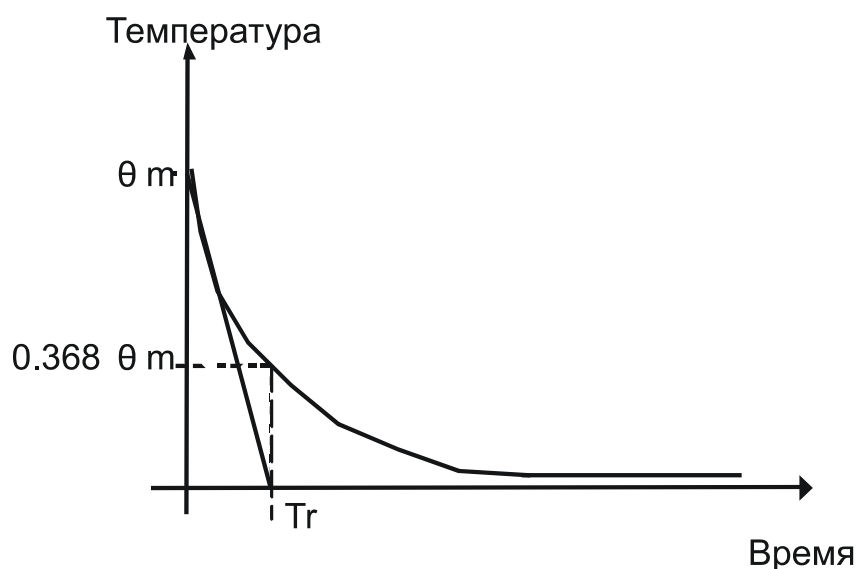
При останове электродвигателя, вентилятор на роторе также стоит, следовательно охлаждение двигателя становится менее эффективным на остановленной машине. Это объясняет значительно большее значение постоянной времени охлаждения электродвигателя. Для того чтобы учесть

данное явление в тепловой модели электрической машины в реле задается постоянной времени охлаждения защищаемого электродвигателя.

Регулируемая уставкой постоянная времени остывания (T_r) обеспечивает возможность учета различных режимов (вариантов) охлаждения электрической машины.

Постоянная времени охлаждения (T_r) может быть определена по характеристике остывания электрической машины следующим образом:

Характеристика охлаждения электродвигателя



Характеристика описывается следующим уравнением:

$$\theta(t) = \theta_m \times (1 - e^{-t/T_r})$$

Где:

θ_m = максимальная температура в момент остановки двигателя $^{\circ}\text{C}$

T_r = постоянная времени остывания

t = истекшее время

Постоянная времени остывания определяется достаточно просто. После остановки электродвигателя его температура со временем падает. Интервал времени за который температура достигнет 36,8% от исходной (температура в момент отключения двигателя) равен постоянно времени остывания T_r .

В реле P220 также имеется:

- Степень защиты от теплового перегруза (если введена) предназначенная для сигнализации о приближении к тепловому состоянию электрической машины к уставке отключения от данной защиты. Для предотвращения отключения необходимо принять меры по разгрузке электродвигателя.
- Возможность запрета отключения электродвигателя во время пуска

На время режима пуска электродвигателя отключение от защиты по тепловому перегреву может быть заблокировано (т.е. задана уставка времени запрета отключения на время пуска t_{start}). Если введен запрет отключения от тепловой

защиты на время пуска, то расчет теплового состояния тем не менее продолжается до значения 90%, после этого значение фиксируется на данном уровне. По истечении времени таймера запрета (по окончании пуска), запрет отключения от защиты по тепловому перегреву снимается. Запрет отключения не оказывает действия на ступень сигнализации теплового состояния электрической машины.

Возможность блокирования отключения от тепловой защиты может быть использована в тех случаях когда электродвигатель выдерживает затормаживание ротора лишь в течении короткого интервала времени, но имеет очень продолжительное время пуска. Это может быть, например, в случае использования метода пуска электродвигателя на пониженном напряжении. Для учета быстрого нагрева при затормаживании ротора в реле используется задаваемая в виде уставки константа T_{e2} , в то время как защита от перегрева электродвигателя в время пуска обеспечивается функцией “Start-up too long” («Время пуска очень большое»), а также в необходимых случаях при помощи использования внешних датчиков температуры.

- Запрет повторного пуска по тепловому состоянию эл. Машины
- До некоторой степени защита от теплового перегруза может ограничить количество пусков путем выбора характеристики располагающейся чуть выше точки нагрева при пуске. Однако очень трудно выполнить требования изготовителей электрических машин по ограничению количества пусков с помощью защиты от теплового перегруза. Это может привести к пуску электрической и последующему превышению максимальной температуры.

Назначением функции “Thermal prohibition of start-up” (Запрет тепловой защиты при пуске) является предотвращение отключения от тепловой защиты при пуске электрической машины. Двигатель должен остыть до определенной степени прежде чем будет дано разрешение на его пуск.

Время отключения от защиты по тепловой модели электрической машины рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{trip} = T \times \ln \left\{ \left[\left(I_{eq} / I_{\theta>} \right)^2 - \theta_{initial} \right] / \left[\left(I_{eq} / I_{\theta>} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (1)$$

Прим. $\theta_{initial}$ = начальное тепловое состояние

Для того чтобы избежать отключения от тепловой защиты при пуске должно выполняться условие $t_{trip} > td$.

Следовательно, согласно (1),

$$td < T_{e2} \times \ln \left\{ \left[\left(I_d / I_{\theta>} \right)^2 - \theta_{forbid_start} \right] / \left[\left(I_d / I_{\theta>} \right)^2 - 1 \right] \right\}$$

Прим. θ_{forbid_start} = тепловое состояние запрета пуска

Следовательно, уставка запрета пуска по тепловому состоянию (θ_{forbid_start}) должна быть ниже чем:

$$\theta_{forbid_start} < \left[\left(I_d / I_{\theta>} \right)^2 \times \left(1 - \exp^{(td/T_{e2})} \right) \right] + \exp^{(td/T_{e2})}$$

Где:

I_d = фактический пусковой ток,

td = фактическое время пуска,

T_{e2} = тепловая постоянная времени во время пуска,

$I_{0>}$ = уставка тока защиты от теплового перегруза

t_{trip} = время отключения по тепловой модели объекта

- Тепловой образ подвержен влиянию температуры окружающей среды

В начале данного параграфа было сказано, что P220 может обеспечить работу защиты от теплового перегруза в комбинированном режиме, а именно при одновременном использовании прямых измерений температуры от внешних термодатчиков и косвенных измерений температуры (по данным измерения тока). При использовании данного способа, имеется возможность корректировки расчета теплового состояния объекта путем использования информации от датчика температуры расположенного вне электрической машины. Заданный в виде уставки ток тепловой защиты может быть скорректирован коэффициентом коррекции для более точного воспроизведения теплового состояния двигателя.

Коэффициент температурной коррекции тока тепловой защиты применяется автоматически при расчетах теплового состояния если эта возможность используется.

Значения коэффициента коррекции приведены ниже:

Температура окружающей среды	40 ⁰ C	45 ⁰ C	50 ⁰ C	55 ⁰ C	60 ⁰ C	65 ⁰ C
Коэффициент коррекции тока тепловой защиты (Coef)	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75

Типовые уставки защиты от теплового перегруза:

- Уставка тока тепловой защиты [$I_{0>}$]: от 105% до 108% (макс.) от номинального тока электрической машины (эта уставка обычно равна длительно допустимому току полной нагрузки)

ПРИМЕЧАНИЕ: Номинальный ток двигателя : ток при котором электрическая машина обеспечивает максимальную эффективность

Ток полной нагрузки: предельное значение тока по температурным условиям при работе электродвигателя в постоянном режиме.

- Коэффициент влияния тока обратной последовательности: **[Ke]= 3**
- Постоянные времени нагрева при перегрузке (T_{e1}), при пуске (T_{e2}) и при охлаждении (T_r):

Постоянные времени нагрева и остывания должны быть представлены изготовителем электрической машины.

- ⇒ Уставка **Te1** должна быть задана равной или несколько меньше значения указанного заводом-изготовителем (Stator thermal heating – Тепловой нагрев статора)
- ⇒ Уставка **Te2** должна быть задана равной или несколько меньше значения T_{e1} . Она используется для коррекции тепловой характеристики на время пуска электродвигателя. При использовании режима «мягкого» пуска (переключение соединения обмоток статора Y/ Δ), ток потребляемый двигателем после завершения фазы пуска составляет 57% от тока контролируемого реле (при соединении Δ) в то время как во время пуска (соединение обмоток Y), ток потребляемый двигателем равен току контролируемого реле. По этой причине используется постоянная времени T_{e2} , для снижения времени отключения от защиты на период

пуска. При использовании пуска методом прямого включения в сеть, постоянные времени задаются равными $T_{e2}=T_{e1}$, что ведет к работе тепловой защиты по одной кривой при пуске и перегрузке.

- ⇒ Рекомендуется вычертить тепловые характеристики, для того чтобы убедиться в том, что характеристика при работе из «холодного» состояния не имеет пересекающихся областей с пусковой характеристикой нагрева. В некоторых случаях отсутствуют данные по постоянным времени. Вместо них могут быть представлены характеристики нагрева в графическом виде. В таком случае постоянная времени T_{e1} должна быть выбрана по графику таким образом чтобы соответствовать характеристике нагрева из холодного состояния электрической машины.
- ⇒ Для тех случаев применения когда отсутствуют данные постоянных нагрева или графики тепловых характеристик электрической машины, значения постоянных времени T_{e1} и T_{e2} выбирают таким образом чтобы они были выше пусковой характеристики но ниже уставки тока при затормаживании ротора. В таком случае защита от теплового перегруза позволяет обеспечить в определенной степени защиту при затормаживании ротора.
- ⇒ В идеальном случае уставка постоянной времени охлаждения T_r должна быть немного выше чем значение представленное заводом-изготовителем электрической машины.

Это особенно важно для электродвигателей работающих в различных нагрузочных режимах, т.к. в этом случае требуется точная информация о тепловом состоянии электрической машины при ее нагреве и охлаждении. Обычно это значение кратное T_{e1} .

ПРИМЕЧАНИЕ: ЕСЛИ НЕТ ДАННЫЕ ЗАВОДА ТО МОЖНО ЗАДАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ: ДЛЯ $T_{e1}=T_{e2}=14$ МИН ЗАДАТЬ $T_r = 28$ МИН.

- Степень сигнализации θ_{alarm} : данная уставка в первую очередь зависит от режима работы электродвигателя и концепции построения защиты. Типовым значением уставки можно считать уставку несколько выше чем отношение $(I_{ном. эл.дв.} / I_{\theta})^2$, которое обычно соответствует значению порядка 90%.

2.1.2 Защита при коротком замыкании [50/51] ('Short Circuit')

Междуфазные замыкания на выводах электродвигателя или в кабеле питания вызывают очень большой ток, который может повредить двигатель и кабель питания. Кроме того это может привести к возгоранию в машинном помещении.

В этом случае очень важно своевременно обнаружить повреждение и послать команду отключения на коммутационный аппарат. Для достижения этой цели в P220 предусмотрена максимальная токовая защита работающая по току основной гармоники с независимой выдержкой времени.

Уставка тока срабатывания должна быть возможно ниже, но в то же время защита не должна давать команду отключения вследствие:

- Повышения тока при пуске двигателя
- Тока подпитки от двигателя при внешнем замыкании а также
- В режиме самозапуска при перерывах питания.

Для достижения этого, при расчете уставок защиты от короткого замыкания необходимо всегда принимать во внимание ток при пуске электродвигателя

методом прямого включения в сеть даже если двигатель пускается при пониженном напряжении (мягкий пуск). Таким образом, уставка защиты от междуфазных коротких замыканий должна выбираться выше пускового тока по методу прямого включения.

Принимая во внимание апериодическую составляющую тока, типовыми значениями уставки срабатывания считаются:

- $[I>>] = 130\% \times k_{\text{пуск}} \times I_{n \text{ эл.дв.}}$ и время срабатывания $[tI>>] = 100 \text{ мс}$
- $[I>>] = 180\% \times k_{\text{пуск}} \times I_{n \text{ эл.дв.}}$ и время срабатывания $[tI>>] = 0 \text{ мс}$

Где $k_{\text{пуск}}$: пусковой тока электродвигателя в о.е.

Необходимо убедиться в том что уставка $[I>>]$ ниже чем:

- 90% предельного значения тока насыщения используемого ТТ, а также
- 1/3 минимального тока трехфазного КЗ на выводах электродвигателя.

ВАЖНОЕ ПРИМЕЧАНИЕ: ЕСЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ КОНТАКТОР С ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ, ЗАЩИТА ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НЕ ДОЛЖНА ДЕЙСТВОВАТЬ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ КОНТАКТОРА. ЗАЩИТА ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДОЛЖНА БЫТЬ ВЫВЕДЕНА, А ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДОЛЖЕН ОТКЛЮЧАТЬСЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ. ЕСЛИ ДОПУСТИТЬ ДЕЙСТВИЕ ЗАЩИТЫ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ КОНТАКТОРА, ТО ЭТО МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К СЕРЬЕЗНЫМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ КОНТАКТОВ ОТ ДЛИТЕЛЬНОГО ГОРЕНИЯ ДУГИ.

2.1.3 Защита от замыканий на землю [50N/51N] ('Earth fault')

Перегрев обмотки статора чаще всего ведет к повреждению изоляции. Поскольку обмотки статора окружены металлическим сердечником и заземленным корпусом, повреждения в статоре обычно проявляются в виде замыканий на землю.

Для защиты от этого в P220 предусмотрены две независимые ступени максимальной токовой защиты от замыканий на землю с независимыми выдержками времени. Токовые органы данной защиты реагируют только на основную гармонику тока замыкания на землю, и, следовательно, остаются инертными по отношению к помехам или гармоникам более высокого порядка (2-я гармоника и более высокие).

Защита от замыканий на землю может быть реализована по схеме суммирования трех фазных токов или с использованием трансформатора тока нулевой последовательности с суммированием магнитных потоков в сердечнике.

Для данной защиты предпочтительным решением является использование ТТ нулевой последовательности, поскольку он более стабилен и более чувствителен. При использовании схемы соединения фазных ТТ в фильтр токов нулевой последовательности, уставка срабатывания должна быть не ниже 10% от номинального тока ТТ. Это крайне нежелательно, поскольку приводит к загроблению защиты от замыканий на землю.

Излишнее отключение от защиты может произойти в результате насыщения одного или нескольких ТТ при пуске электродвигателя. Повышение стабильности защиты может быть достигнуто двумя способами:

- Увеличением уставки тока срабатывания
- Установкой стабилизирующего резистора последовательно с P220.

Значение стабилизирующего резистора может быть рассчитано по следующей формуле:

$$R_{stab} > (I_d / I_s) \times (R_{CT} + 2 \times R_f + R_{RE}),$$

Где:

I_d = величина пускового тока приведенная к вторичным значениям

I_s = уставка защиты от замыканий на землю, в амперах ($I_{o>}$ или $I_{o>>}$)

R_{CT} = сопротивление постоянному току вторичной обмотки ТТ

R_f = сопротивление одного провода от ТТ до реле

R_{RE} = другие сопротивления подключенные к ТТ (реле и т.п.)

Методы заземления нейтрали.

2.1.3.1 Импедансное заземление нейтрали

Ток замыкания на землю является преимущественно активным током, что объясняется резистивным сопротивлением относительно точки нейтрали, составляющая емкостного тока кабеля значительно меньше, или пренебрежительно мала.

Типовые значения уставок:

- При использовании схемы подключения трех фазных ТТ по схеме фильтра нулевой последовательности:
 - уставка [$I_{o>>}$] не менее 10% номинального первичного тока ТТ, И
 - в два раза выше чем емкостный ток нулевой последовательности вызванный емкостью кабеля при внешних КЗ, И
 - меньше чем ток нулевой последовательности вызванный сопротивлением нейтрали, И
 - время срабатывания [$t_{I_{o>>}}$] = 100 мс
- При использовании ТТ нулевой последовательности с магнитным суммированием потоков фазных токов
 - уставка [$I_{o>>}$] в два раза выше чем емкостный ток нулевой последовательности вызванный емкостью кабеля при внешних КЗ, И
 - меньше чем ток нулевой последовательности вызванный сопротивлением нейтрали, И
 - время срабатывания [$t_{I_{o>>}}$] = 100 мс

Примите к сведению что уставка менее 1А обычно не применяется.

2.1.3.2 Изолированная нейтраль

Используется ТТ нулевой последовательности поскольку ток замыкания объясняется емкостным током утечки кабеля.

Замыкание одной из фаз на землю не приводит к работе реле на отключение однако повреждение должно быть локализовано.

Типовые уставки:

- уставка [$I_{o>>}$] в два раза выше чем емкостный ток нулевой последовательности вызванный емкостью кабеля питания электродвигателя при внешних КЗ, И
- меньше чем ток нулевой последовательности вызванный емкостью других кабелей, И

- время срабатывания $[t_{lo>>}] = 100$ мс

Примите к сведению что уставка менее 1А обычно не применяется.

Если уставки, заданные по данным рекомендациям, не совместимы с максимальным значением тока замыкания на землю, необходимо использовать реле направленной защиты от замыканий на землю.

2.1.3.3 Глухозаземленная нейтраль

В данной сети ток замыкания на землю носит в основном индуктивный характер, величина тока сопоставима с током трехфазного замыкания. Составляющая емкостного тока нулевой последовательности от кабеля пренебрежимо мала.

Типовые уставки:

- При использовании схемы подключения трех фазных ТТ по схеме фильтра нулевой последовательности:
 - уставка $[I_{o>>}]$ не менее 10% номинального первичного тока ТТ, И
 - время срабатывания $[t_{lo>>}] = 100$ мс

2.1.4 Защита от несимметрии [46] (Unbalance)

В нормальном режиме работы электродвигателя протекает только ток прямой последовательности. Составляющая обратной последовательности приводит к созданию поля вращающегося в обратном направлении по отношению к ротору. Это приводит к появлению в обмотке ротора тока с двойной частотой по отношению к частоте сети. Эффект поверхностного вытеснения в обмотке ротора на данной частоте является причиной значительного повышения сопротивления ротора. Это в свою очередь ведет к перегреву ротора, деформации шин ротора и их повреждению. Кроме это происходит дополнительный нагрев статора превышающий паспортные допустимые значения температуры.

Даже принимая во внимание тот факт, что защита от теплового перегруза, предоставляет возможность учета влияния на нагрев тока обратной последовательности, она не способна учесть дополнительный нагрев при больших значения несимметрии. Поскольку при потере одной из фаз питающего напряжения происходит очень интенсивный нагрев электродвигателя, защита по обратной последовательности доступна в реле в виде самостоятельной функции.

В обеспечение данной функции, в реле P220 предусмотрены две независимые ступени по току обратной последовательности. Первая ступень, обозначенная как $[I_i>]$, используемая для сигнализации имеет регулируемый таймер срабатывания с независимой выдержкой времени. Вторая ступень, обозначенная как $[I_i>>]$, используемая для действия на отключение, имеет обратозависимую характеристику срабатывания. Параметры этой характеристики приведены в главе 5.3 настоящего технического руководства.

Уравнение описывающее эту характеристику:

$$\text{Для } 0,2 < (I_2/I_n) < \rightarrow t = 1,2/(I_2/I_n)$$

Данный тип характеристики имеет следующие преимущества:

1. При внешних повреждениях:
 - Понижение чувствительности реле при КЗ с большой несимметрией «за спиной» или на других фидерах, т.е. когда электродвигатель какое-то время работает как генератор тока обратной последовательности; обеспечение селективности при отключении повреждения – обратозависимая

характеристика позволяет выполнить согласование с защитами поврежденного фидера.

- Исключается излишняя работы защиты на отключение которое могло быть причиной насыщения ТТ при большом пусковом токе электродвигателя

2. При повреждении в электродвигателе

- Обеспечение быстрого отключения повреждения, при условии сохранения согласования с предохранителями, если используются с контактором и предохранителями схема управления двигателем.

Как известно, однофазные замыкания и двухфазные замыкания являются причиной появления тока обратной последовательности. Однако величина тока при однофазном повреждении обычно ограничена, и, в основном, однофазные замыкания локализируются соответствующими защитами, с временами меньшими, чем при работе по обратозависимой характеристике (IDMT).

Типовые уставки:

- Степень сигнализации: $[I_i >] = 15\%$ от номинального тока двигателя, с выдержкой времени от 8 до 10 сек,
- Степень отключения: $[I_i >>] = 20\%$ от номинального тока двигателя.

2.1.5 Затяжной пуск [48] (Excessive long start)

Величина пускового тока зависит от типа/конструкции электродвигателя и от метода пуска (прямое включение в сеть, автотрансформаторный пуск, пуск с резисторами в цепи ротора, и т.п). Время пуска определяется в основном нагрузкой двигателя.

В течение времени пуска возросший ток вызывает тепловое напряжение ротора. Нагрев еще более усиливается по причине отсутствия обдува от вентилятора поскольку ротор не достиг номинальной скорости вращения. Следовательно, затяжной пуск двигателя приводит к быстрому нагреву электродвигателя. Поэтому данная функция дополняет защиту от теплового перегруза и предназначена для контроля того что режим пуска не превышает допустимые значения заданные изготовителем электродвигателя.

В реле MiCOM P220 предусмотрены следующие варианты определения работы электрической машины в режиме пуска:

- Включение контактора/выключателя, или
- Включение контактора/выключателя с контролем превышения уставки пускового тока $[I_{start}]$.

Пользователь имеет возможность выбора любого из режимов в меню CONFIGURATION (ПОСТРОЕНИЕ). Рекомендуется использование первого метода, при котором режим пуска определяется по факту включения коммутационного аппарата.

Функция (Excessive long start) «Затяжной пуск» пускается при определении режима пуска, либо (в режиме нормально работы) по определению режима самозапуска. Если по истечении выдержки времени таймера $[t_{start}]$ ток остается выше чем заданная уставка контроля пускового тока $[I_{start}]$, реле действует на отключение электродвигателя.

Типовые уставки:

- Уставка $[I_{start}]$ равна:
 - ⇒ $1,5 \times [I_{\theta >}]$ если пусковой ток не более 4-кратного по отношению к номинальному току двигателя;

- ⇒ $2 \times [I_{\theta}]$ если пусковой ток равен или более 4-кратного но менее 8-кратного тока по отношению к номинальному току двигателя;
- ⇒ $3 \times [I_{\theta}]$ если пусковой ток равен или более 8-кратного тока по отношению к номинальному току двигателя;
- $[t_{start}] = 120\%$ от времени нормального пуска, но не более максимально допустимого времени пуска электродвигателя.

2.1.6 Заторможенный ротор [51LR/50S] (Locked rotor)

Существуют два режима при которых может произойти остановка/затормаживание ротора: при пуске двигателя или в режиме работы с нормальной частотой вращения. В обоих случаях, это приводит к тому что ток потребляемый двигателем возрастает до величины пускового тока по методу прямого включения в сеть.

Наиболее частой причиной затормаживания ротора является обрыв одной из фаз (например, перегорание предохранителя или размыкание/невключение одного из полюсов контактора/выключателя). Остановленный двигатель не может пуститься и остается стоять при питании статора от двух фаз. Точно также ротор может остановиться при работе в нормальном режиме и исчезновении напряжения одной. Возникновение затормаживания ротора в этом случае зависит от нагрузки двигателя в момент исчезновения фазы питающего напряжения. В любом случае затормаживание ротора ведет к недопустимому нагреву обмоток электродвигателя.

В нормальном режиме работы вращающийся поток наводит симметричный ток в обмотках ротора, и следовательно ротор нагревается равномерно. В случае исчезновении одной из фаз напряжения питания, магнитный поток в роторе становится пульсирующим что в свою очередь ведет к появлению тока прямой и обратной последовательности. А это приводит к неравномерному нагреву обмоток ротора, в зависимости от положения стержней и их возможному повреждению. Исходя из этих причин важно как можно быстрее устранить повреждение.

2.1.6.1 Затормаживание ротора при пуске [50S]

Эта функция активна только на время пускового режима электродвигателя. Для использования преимуществ данной функции двигатель должен быть оснащен тахометром для контроля частоты вращения. На дискретный логический вход реле подается информация о том что частота вращения ноль или нет. Считается, что ротор заторможен, если по истечении выдержки времени $[I_{stall}]$ на дискретном входе нулевой сигнал (логический 0).

Для электродвигателей у которых время пуска меньше чем допустимое время состояния с заторможенным ротором, защита от затормаживания ротора при пуске может быть выполнена без использования сигнала от датчика контроля частоты вращения. В этом случае уставка таймера $[I_{start}]$ (см. описание функции [48] «Затяжной пуск» (Excessive long start) будет меньше чем допустимое время состояния с заторможенным ротором и соответственно будет обеспечена эффективная защита как от затянувшегося пуска так и от затормаживания ротора.

2.1.6.2 Затормаживание ротора при работе в нормальном режиме [51LR]

Эта функция действует лишь при самозапуске и пуске электродвигателя. Отключение будет иметь место, если ток остается выше значения уставки $[I_{stall}]$ в течение интервала времени $[t_{stall}]$.

Типовые уставки функции [50LR/50S]:

- $[I_{stall}]$:
 - ⇒ $1,5 \times [I_{\theta >}]$ если пусковой ток не более 4-кратного по отношению к номинальному току двигателя;
 - ⇒ $2 \times [I_{\theta >}]$ если пусковой ток равен или более 4-кратного но менее 8-кратного тока по отношению к номинальному току двигателя;
 - ⇒ $3 \times [I_{\theta >}]$ если пусковой ток равен или более 8-кратного тока по отношению к номинальному току двигателя;
- $[t_{stall}]$: от 1сек. до 2 сек для насосов или вентиляторов и от 5сек до 10сек для дробилок/мельниц. Во всех случаях уставка таймера должна быть не более времени работы в режиме с заторможенным ротором.

2.1.7 Потеря нагрузки [37] (Loss of load)

Данная функция позволяет определить режим работы без нагрузки на валу электродвигателя. Функция автоматически блокируется при отключении электродвигателя и вновь активируется по истечении выдержки времени таймера запрета $[T_{inhib}]$. Данная выдержка времени $[T_{inhib}]$ позволяет выполнить пуск электродвигателя в отсутствии нагрузки на валу.

Использовании защиты минимального тока позволяет выполнить:

- Защиту электронасосов от срыва потока
- Защиту при обрыве приводного ремня или поломки вала.

Типовые уставки функции:

- $[I<]$ = выше чем ток двигателя при работе без нагрузки но меньше ток при работе в нормальном нагрузочном режиме
- $[T_{inhib}]$ = Уставка зависит от момента подключения нагрузки. Если двигатель пускается с нагрузкой на валу, то уставка таймера должна быть минимальной, скажем 0,05сек. Если двигатель пускается без подключенной на валу нагрузки, то уставка таймера должна быть несколько больше чем время набора нагрузки.
- $[tI<]$ = зависит от типа нагрузки приводимой в движение электродвигателем (часто устанавливается порядка нескольких секунд).

2.1.8 Термодатчики (RTD) [49/38] и терморезисторы [49]

Продолжительная работа в режимах перегрузки ведет к повышенному нагреву обмоток что в свою очередь вызывает преждевременное старение изоляции. Таким же образом перегрев подшипников может привести к необратимым повреждениям оборудования.

Как сказано выше в разделе защиты от теплового перегруза [49], эта функция может быть реализована либо путем моделирования теплового состояния электрической машины по результатам измерения тока и/или с использованием прямых измерений температуры.

Некоторые типы электродвигателей оснащаются термодатчиками установленными в пазах сердечника статора. В качестве датчиков служат резисторы выполненные из платины, иногда из никеля или меди, сопротивление которых изменяется с изменением температуры. Обычно в статоре устанавливается шесть датчиков равномерно распределенными по статорной обмотке.

Уставки ступеней на сигнал и на отключение зависят от класса электродвигателя по температуре, от температуры окружающей среды и высоты над уровнем моря на которой работает электродвигатель.

Если в защите от теплового перегруза задана коррекция характеристики тепловой модели по температуре окружающей среды, то датчик температуры RTD1 должен быть установлен вблизи отверстия забора воздуха охлаждения электродвигателя.

2.2 Меню АВТОМАТИКА (АУТОМАТ. CTRL)

2.3 Ограничение количества пусков в течении заданного времени [66]

Пуск электродвигателя зачастую происходит с превышением температуры сверх допустимого уровня – особенно в случае нескольких относительно продолжительных предшествующих пусков. В таком случае возникает опасность преждевременного старения изоляции электродвигателя, при этом ротор двигателя также подвергается значительному тепловому стрессу. Более подробно явление описано в главе посвященной описанию функции защиты при затынувшемся пуске или затормаживании ротора.

Для ограничения частых пусков электродвигателя в реле P220 имеется функция подсчета пусков и действие на блокирования очередного пуска работающая с использованием следующих параметров:

- Продолжительность контролируемого интервала времени;
- Количество «холодных» пусков;
- Количество «горячих» пусков;
- Время запрета повторного пуска [$T_{interdiction}$].

Контроль заданного интервала времени активируется сразу при определении режима пуска электродвигателя и при условии что изначально количество пусков в контролируемом интервале равно нулю, счетчики фиксируют количество «горячих» и количество «холодных» пусков. Если количество тех или иных пусков достигает предельного значения заданного пользователем, запускается таймер запрета повторного пуска [$T_{interdiction}$], но запрет пуска появляется лишь при очередном останове электродвигателя. До тех пор пока не истечет выдержка времени этого таймера пуски двигателя запрещены.

Следует отметить, что «холодным» считается пуск если предшествующее тепловое состояние электродвигателя не более 50%, и соответственно, пуск считается «горячим» если тепловое состояние электродвигателя перед пуском равно или более 50%.

Рекомендуемые значения уставок должны быть сопоставлены с данными электродвигателя предоставляемыми заводом-изготовителем. Кроме этого значения задаваемых параметров работы данной функции могут зависеть от режима работы электродвигателя и приводного механизма.

При отсутствии этих данных, уставки по умолчанию следующие:

- Продолжительность контролируемого интервала времени = 60 мин
- Количество «холодных» пусков = 3;
- Количество «горячих» пусков = 2;
- Время запрета повторного пуска [$T_{interdiction}$] = 30 мин

Следует отметить, что данная функция не ограничивает возможность двух последовательных пусков электродвигателя если не запускался таймер запрета

[$T_{interdiction}$]. Это ограничение, при необходимости, может быть обеспечено дополнительной функцией “Time between two successive start-ups” (Время между двумя последовательными пусками).

2.3.1 Время между двумя успешными пусками [66]

Данная функция дополняет функцию ограничения количество пусков в течении заданного интервала времени. Функция позволяет избежать двух последовательных пусков электродвигателя. Это ограничение может быть обусловлено электродвигателем или коммутационным аппаратом.

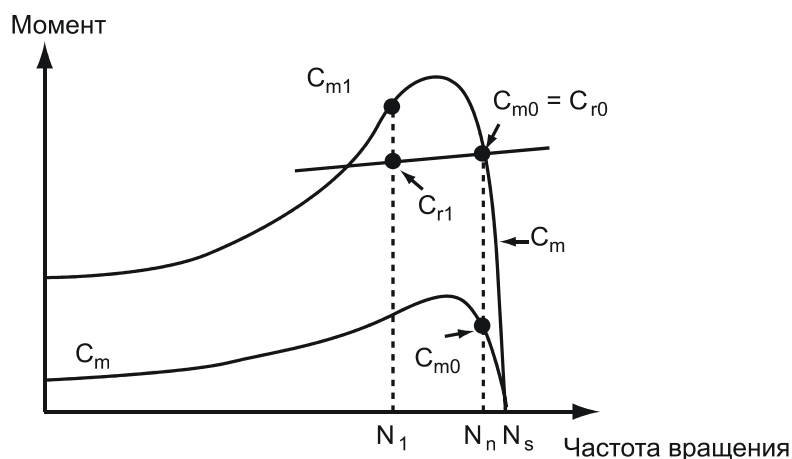
Уставка таймера минимального времени между двумя последовательными пусками [$T_{between\ 2\ start}$] должно выбираться из условия минимально необходимого перерыва между двумя последовательными пусками.

2.3.2 Самозапуск

Короткие замыкания в электроустановке или замыкания вблизи источников питания может привести к посадке напряжения ниже минимального допустимого уровня. Снижение напряжения может привести к проблемам, которые могут не исчезнуть вместе с отключением короткого замыкания и восстановления напряжения до нормального уровня.

При снижении напряжения питания электродвигателя, момент на валу, который примерно пропорционален квадрату напряжения, резко снижается, что ведет к снижению частоты вращения электродвигателя. Снижение частоты вращения является функцией от глубины и продолжительности снижения напряжения питания. Скорость снижения частоты вращения в основном определяется моментом инерции вращающихся масс и характеристикой момента от частоты вращения приводного механизма.

В наиболее неблагоприятном случае двигатель может вообще остановиться поскольку момент при сниженном напряжении может оказаться меньше тормозного момента приводного механизма. Иллюстрация данного явления приведена на следующем рисунке.



На характеристиках показанных выше представлены:

- Момент двигателя C_m на частоте вращения N при номинальном напряжении V_n
- Момент двигателя C'_m на частоте вращения N при напряжении V меньшим чем напряжение V_n

- Тормозной момент приводного механизма C_r в зависимости от частоты вращения

При снижении напряжения момент двигателя резко снижается со значения $C_m=C_r0$ до значения $C'm0<C_r0$. Следовательно приводной механизм начнет замедляться, и после восстановления напряжения момент двигателя возрастает до значения C_m1 , в то время как на данной частоте вращения тормозной момент равен C_r1 . Следовательно, двигатель не может вновь разогнаться до нормальной скорости если его момент ниже чем тормозной момент C_r1 (см. рис. выше).

После отключения короткого замыкания, внутреннее сопротивление двигателя близко к значению остановленной машины. Таким образом после восстановления напряжения, ток потребляемый двигателем будет близок к пусковому току при номинальном напряжении. Ток тем больше чем больше скольжение в момент восстановления напряжения.

Режим самозапуска не сопровождается серьезными осложнениями, если не происходит одновременно с несколькими мощными электродвигателями. В таком случае одновременный самозапуск может привести еще большему снижению напряжения что сделает невозможным самозапуск всех двигателей. Для решения проблемы при снижении напряжения выполняется отключение менее ответственных двигателей для того чтобы обеспечить успешный самозапуск наиболее ответственных.

Реле MiCOM может иметь уставки как разрешающие самозапуск электродвигателя при снижении напряжения или блокировать самозапуск путем подачи команды на отключение при продолжительном снижении/исчезновении напряжения питания.

2.3.2.1 Разрешение самозапуска

Информация о снижении или восстановлении напряжения формируется во внешнем реле напряжения контролирующем напряжения на шинах подстанции. Сигнал "Voltage dip" (Снижение напряжения) подается на логический вход реле MiCOM P220 который программируется на прием данного сигнала ("VOLT.DIP").

Уставка таймера $[T_{reacc}]$ времени самозапуска должна задаваться равной максимальному допустимому перерыву питания после которого пользователь запрещает самозапуск электродвигателя. Таким образом, при перерывах питания не превышающих выдержку времени таймера $[T_{reacc}]$ самозапуск разрешается. С другой стороны, если перерыв питания будет продолжаться дольше выдержки времени таймера реле не изменяет режим работы и попытка самозапуска будет восприниматься реле как состояние "Rotor locked" (Ротор заторможен т.е. амплитуда тока самозапуска будет такой же как при заторможенном роторе) – и, соответственно, реле выдаст команду отключения при условии, что ток самозапуска превышает уставку контроля заторможенного ротора.

2.3.2.2 Отключение нагрузки при снижении напряжения

То же самое реле напряжения может быть использовано для отключения нагрузки при исчезновении/снижении напряжения питания. Возможны два варианта:

- Немедленное отключение электродвигателя при исчезновении напряжения питания,
- Отключение электродвигателя если перерыв питания дольше чем уставка таймера запрета/разрешения самозапуска.

Для этого на логический вход реле P220 назначаемый как EXT.1 (EXT.2) должен подаваться сигнал от реле напряжения при обнаружении отсутствия напряжения на шинах. Выдержка времени таймера $t_{EXT.1}$ ($t_{EXT.2}$), связанного с данным оптоходом должна быть установлена следующим образом:

- Равной времени перерыва питания после которого пользователь желает выполнять отключение нагрузки
- Равной уставке таймера $T_{геacc}$ (Максимальный перерыв питания при котором разрешается самозапуск).

Внешняя команда отключения поступающая по входу EXT.1 (EXT.2) должна конфигурироваться на отключение (через выходное реле RL1).

Таким образом, при любом перерыве питания продолжающемся дольше чем уставка таймера ($t_{EXT.1(2)}$) реле подействует на отключение электродвигателя.

ПРИМЕЧАНИЕ:

- ⇒ Максимальный перерыв питания после которого разрешается самозапуск электродвигателя индивидуален для каждой электроустановки и зависит от характеристик питающей сети (импеданс системы, импедансы других нагрузок и в особенности наличие других вращающихся электрических машин) а также от характеристик данного электродвигателя и его нагрузки (величина тока прямого включения в сеть, момент инерции). Величина допустимого перерыва питания является результатом исследования динамической стабильности системы.
- ⇒ Сигнал “Voltage dip” (Отсутствие/провал напряжения) получаемый от внешнего реле напряжения должен существовать только во время фактического отсутствия напряжения питания. После восстановления напряжения на шинах подстанции данный сигнал должен сниматься как можно быстрее. Реле напряжения, используемое для формирования сигнала “Voltage dip”, должно обладать малым временем срабатывания и возврата. В идеальном случае это время не должно превышать полтора периода (не более 30 мс для сети 50 Гц).
- ⇒ Предполагается, что напряжение на шинах той же величины что и на выводах электродвигателя. Если это не так, то при задании уставки контроля наличия/отсутствия напряжения на шинах подстанции (“Voltage dip”), следует учитывать падение напряжения от шин до выводов электродвигателя.

3. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ЗАЩИТ

3.1 Данные сети

- Входы тока реле MiCOM P220:
 - Токи фаз: $I_n = 5A$;
 - Ток 3Io: $I_{op} = 1A$
- Коммутационный аппарат: выключатель
- Максимальный ток 3-ф КЗ на шинах 6,2кВ: $I_{кз3ф} = 9кА$
- Режим заземления нейтрали сети 6,2кВ: токоограничивающий резистор для ограничения тока замыкания на землю на уровне 30А
- Длина силового кабеля от шин 6,2кВ до выводов электродвигателя: 100м
- Измерительные трансформатора:
 - Ктт фазных ТТ: 300/5А
 - Ктт ТТ 3Io: 25
- В распоряжении имеется контакт устройства контроля частоты вращения (“Speed switch”)

3.2 Данные электродвигателя

Асинхронный электродвигатель:		
– Номинальная мощность	==>	$P_n = 2200кВт$, $\cos\varphi = 0,8$
– Номинальное напряжение	==>	$V_n = 6.2кВ$, 50 Гц
– Номинальный ток	==>	$I_n = 256A$
– Ток холостого хода (без нагрузки)	==>	$I_{no-load} = 134A$
– Метод пуска (прямое включение, плавный)	==>	Прямое включение
– Пусковой ток	==>	---
– Пусковой ток по методу плавного пуска	==>	$I_d = 5.4 * I_n$, т.е. 1382А
– Время пуска	==>	$t_d = 4$ сек
– Максимальная повторяемость пусков	--->	Горячих = ...x2, хол.=...x3
– Термическая стойкость при затормаживании ротора (при пуске из горячего и холодного состояния)	--->	2 сек
– Характеристика нагрева	==>	---
– Постоянные времени: нагрева, пусковая, остывания	==>	14 мин, 10 мин, 28 мин
– Характеристики переходного режима при несимметрии	--->	---
– Длительно допустимая несимметрия	--->	---
– Назначение двигателя (приводной механизм: компрессор, дробилка, мельница, насос, вентилятор...)	==>	Насос
– Пуск: без нагрузки на валу / с нагрузкой	--->	Без нагрузки (в течении 30сек по окончании пуска)

3.3 Лист уставок:

Меню OP PARAMETERS (ВХ. ПАРАМЕТРЫ)

Password (Пароль)	AAAA
Reference (ОПИСАНИЕ)	ALST
Frequency (ЧАСТОТА)	50 Hz

Меню CONFIGURATION (ПОСТРОЕНИЕ)

Подменю CONFIG. SELECT (ВЫБОР КОНФ.)

Change Group Input (ВХОД. ИЗМ. КОНФ.)	EDGE (ФРОНТ)
Setting Group (АКТИВНЫЕ УСТАВКИ)	1
Default Display (ДИСПЛЕЙ ПО УМОЛЧАНИЮ)	% I LOAD (% ТОКА НАГР.)
Start detection criterion (критерий определения режима пуска)	52a (включение коммутационного аппарата)
Тип аналогового выхода (опция)	4-20мА
Параметр передаваемый по аналоговому выходу (опция)	% I LOAD (% ТОКА НАГР.)
Тип термодатчиков	PT100

Подменю 'CT RATIO' (КОЭФФ. ТТ)

Первичный номинальный ток фазных ТТ	300
Вторичный номинальный ток фазных ТТ	5
Первичный номинальный ток ТТ 3ю	25
Вторичный номинальный ток ТТ 3ю	1

Подменю ИНД.5, ИНД.6, ИНД.7 и ИНД.8 (LED 5, LED 6, LED 7, LED 8)

	LED 5	LED 6	LED 7	LED 8
Назначение: thermal tripping (отключение от тепловой перегрузки)	Нет	Нет	Да	Нет
Назначение: thermal alarm θ_{alarm} (сигнализация от тепловой перегрузки)	Нет	Нет	Нет	Да
Назначение: $tl>>$	Да	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tl>$	Да	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tl>>>$	Да	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tli>$	Да	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tli>>$	Да	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tl<$	Да	Нет	Нет	Нет
Назначение: tl_{start} (затянувшийся пуск)	Нет	Да	Нет	Нет
Назначение: tl_{stall} (затормаживание ротора при нормальной работе)	Нет	Да	Нет	Нет
Назначение: locked rotor at start (затормаживание ротора при пуске)	Нет	Да	Нет	Нет
Назначение: emergency restart (аварийный перезапуск)	Нет	Нет	Нет	Нет
Назначение: $t_{RTD1} ALARM$, $t_{RTD2} ALARM$, $t_{RTD3} ALARM$ (опция)	Нет	Нет	Нет	Да
Назначение: $t_{RTD1} TRIP$, $t_{RTD2} TRIP$, $t_{RTD3} TRIP$ (опция)	Нет	Нет	Да	Нет
Назначение: $t_{RTD4} ALARM$, $t_{RTD5} ALARM$, $t_{RTD6} ALARM$ (опция)	Нет	Нет	Нет	Да
Назначение: $t_{RTD4} TRIP$, $t_{RTD5} TRIP$, $t_{RTD6} TRIP$ (опция)	Нет	Нет	Да	Нет
Назначение: Termist 1 и Termist 2 (терморезисторый 1 и 2) (опция)	Нет	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tEXT1$ (Внешний 1)	Нет	Нет	Нет	Нет
Назначение: $tEXT2$ (Внешний 2)	Нет	Нет	Нет	Нет
Назначение: motor stopped (двигатель остановлен)	Нет	Нет	Нет	Нет
Назначение: motor running (двигатель работает)	Нет	Нет	Нет	Нет
Назначение: successful start (успешный пуск)	Нет	Нет	Нет	Нет

Подменю CONFIGURATION INPUTS (КОНФ. ВХОДОВ)

Входы: 54321	11111
--------------	-------

Меню COMMUNICATION MODBUS (ПЕРЕДАЧА ИНФ. MODBUS)

Communication enabled? (ПЕРЕДАЧА ИНФ.)	ДА
Data transmission rate (СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ)	19 200 бод
Parity (Проверка четности)	НЕТ
Number of data bits (Кол-во битов данных)	8
Number of stop bits (Кол-во стоп битов)	1
Relay address (Адрес реле)	1
Date Format (Формат даты)	Частный (PRIVATE)

Программирование 1-й группы уставок в меню PROTECTION (УСТАВКИ)

THERM. OVERLOAD [49] ТЕПЛОВАЯ ПЕРЕГРУЗКА	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Thermal overload function enabled? (Ввод функции тепловой защиты в работу?)		Да	
Thermal inhibition on start enabled? (Ввод запрета тепловой защиты при пуске?)		Нет	
Threshold I _θ > (Уставка тока тепловой защиты)	270 A	0,9 I _n (ТТ)	5.5% (допустимый перегруз) = 1,055 I _n (электродвигателя)
K _θ		3	
T _{θ1}		14 мин	См. хар-ку эл. двиг.
T _{θ2}		10 мин	См. хар-ку эл. двиг.
T _θ		28 мин	См. хар-ку эл. двиг.
Коррекция по RTD (опция)		Нет	
θ _{ALARM} enabled? (ввод ступени с действ. на сигнал)		Да	
Thermal alarm threshold (уставка ступени сигнализации) θ _{ALARM}		92%	0,92 > (256/270) ²
θ _{FORBID START} enabled? (запрет пуска от тепловой защиты?)		Да	
FORBID START (ЗАПРЕТ ПУСКА)		78%	0,78 < (1382/270) ² * (1-exp(4/10*60) + exp(5/10*60))

SHORT-CIRCUIT [50/51] ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Short-circuit function enabled? (Ввод функции токовой отсечки?)		Да	
Threshold I>> (Уставка срабатывания токовой отсечки)	1800A	6In	130% пускового тока электродвигателя
tI>> (Уставка времени срабатывания защиты)		0,1 сек	

EARTH FAULT [50N/51N] ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Earth fault function enabled? (Ввод функции ЗНЗ?) Io>		Нет	Может быть запрограммирована только одна ступень
Threshold Io> (Уставка срабатывания ЗНЗ)		0,002 Ion	
tIo> (Уставка времени срабатывания ступени tIo>)		0 сек	
Threshold Io>> (Уставка срабатывания ЗНЗ)	2A	0,08 Ion	Уставка до 6-7% от макс. тока 1ф. КЗ
tIo>> (Уставка времени срабатывания ступени tIo>>)		0,1 сек	

UNBALANCE [46] ЗАЩИТА ОТ НЕСИММЕТРИИ	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Function Unbalance enabled threshold Ii>? (Ввод первой ступени ТЗОП?)		Да	Ввод в работу ступени сигнализации
Threshold Ii> (Уставка срабатывания ТЗОП Ii>)	26.6 A	0,085 In (ТТ)	Уставка до 10% от In двигателя
tIi> (Уставка времени срабатывания ступени tIi>)		10 сек	
Function Unbalance enabled threshold Ii>>? Ввод второй ступени ТЗОП?)	2A	Да	Ввод в работу ступени на отключение
Threshold Ii>> (Уставка срабатывания ТЗОП Ii>>)	51.2 A	0,171 In (ТТ)	Уставка до 20% от In двигателя

EXCESS LONG START [48] ЗАТЯЖНОЙ ПУСК	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Excess long start function enabled? (Ввод функции защиты от затяжного пуска?)		Да	
Threshold I_{start} (Уставка контроля пускового тока)	540 А	$2I\theta$	$I_d=5.4 \cdot I_{n,эл.дв.} \rightarrow I_{start} = 2 \cdot I\theta$
tI_{start} (Уставка времени контроля продолжительности пуска)		5 сек	$1.2 \cdot t_d = 4.8$ сек

BLOCK ROTOR [51LR/50S] ЗАТОРМОЖЕННЫЙ РОТОР	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Block rotor function enabled? (Ввод функции защиты при заклиненном роторе?)		Да	
tI_{stall} (Уставка времени контроля заторможенного ротора)		1.8 сек	См. характеристики двигателя
Stalled-in-run rotor function enabled? (Ввод функции затормаживания ротора при работе двигателя)		Да	
Threshold I_{stall} (уставка тока контроля затормаживания ротора)	540 А	$2I\theta$	$I_d=5.4 \cdot I_{n,эл.дв.} \rightarrow I_{start} = 2 \cdot I\theta$
Blocked-at-start rotor function enabled? (Ввод функции		Да	Необходимо наличие контакта сигнализации нулевой частоты вращения

LOSS OF LOAD [37] ПОТЕРЯ НАГРУЗКИ	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Loss of load function enabled? (Ввод функции защиты при потере нагрузки?)		Да	Насос приводимый электродвигателем
Threshold $I<$ (Уставка функции контроля минимального тока)	165А	$0.55 I_n$	Выше чем ток холостого хода
$tI<$		3 сек	Зависит от технологического процесса
T_{inhib} (время запрета)		40 сек	$T_{inhib} > (5+30)$

START NUMBER [66] КОЛИЧЕСТВО ПУСКОВ	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Start number limitation function enabled? (Ввод функции запрета количества пусков?)		Да	Зависит от частоты изменений режима работы двигателя в соответствии с требованиями технологического процесса
T _{reference} (Время контроля количества пусков)		60 мин	
Hot starts numbers (Количество «горячих» пусков)		2	
Cold starts numbers (Количество «холодных» пусков)		3	
T _{interdiction} (Время блокирования очередного пуска)		30 мин	

MIN TIME BETW 2 START МИН ВРЕМЯ МЕЖДУ 2 ПУСКАМИ	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Time between starts function enabled? (Ввод функции минимального времени между двумя пусками?)		Да	Зависит от частоты изменений режима работы двигателя в соответствии с требованиями технологического процесса
T _{between 2 start} (Уставка минимального времени между двумя пусками)		10 мин	

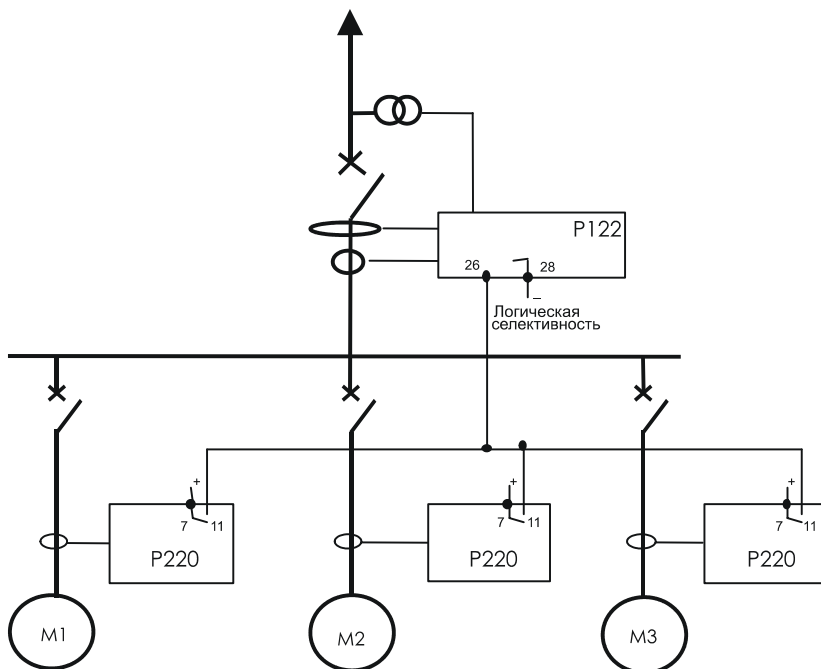
RE-ACCEL AUTHORIZ РАЗРЕЩЕНИЕ НА САМОЗАПУСК	Первичные уставки	Вторичные уставки	Примечание
Re-acceleration authorisation function enabled? (Ввод функции разрешения самозапуска?)		Да	Зависит от частоты изменений режима работы двигателя в соответствии с требованиями технологического процесса
T _{reacc} (Уставка максимально допустимого перерыва питания)		0,2 сек	

4. СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

4.1 Логическая селективность

Данная функция предназначена для уменьшения времени отключения повреждения путем сокращения ступеней селективности. Таким образом использование схемы логической селективности позволяет минимизировать время отключения повреждений на шинах сохраняя при этом согласование с защитами фидеров.

На приведенном ниже примере в качестве защиты ввода использовано реле MiCOM P122, однако вместо него может быть использовано другое стандартное реле, например, P123, P141, P142 или P143.



В нашем примере выдержки времени токовой отсечки ($I>>$) и защиты от замыканий на землю ($I_0>>$) в реле P220 (нижестоящие устройства защиты) и в реле P122 (вышестоящее устройство защиты) установлены 100мс.

Короткое замыкание на шинах будет обнаружено только вышестоящим реле (P122) и команда отключения ввода будет выдана через 100 мс.

При коротком замыкании на фидере электродвигателя, реле защиты P220, установленное на поврежденном фидере, посылает сигнал на реле P122. По получению сигнала на логический вход, реле P122 вместо нормальной выдержки времени использует другую отдельно задаваемую выдержку времени, что дает возможность подействовать на отключение выключателя поврежденного фидера от реле P220. В нашем примере это может быть выдержка времени в 350 мс для обеспечения ступени селективности в 250 мс с нижестоящим реле. Таким образом, через 100 мс реле P220 подаст команду на отключение выключателя поврежденного фидера. В случае отказа в отключении выключателя фидера, повреждение будет отключено путем отключением ввода от вышестоящего реле с временем большим на 250 мс.

ПРИМЕЧАНИЕ:

- Реле MiCOM P220 более удаленное от источника питания имеет возможность предоставления следующей мгновенной информации о превышении уставок тока срабатывания:
 - Фазная МТЗ (токовая отсечка) I>>
 - Первая ступень ЗНЗ Io>
 - Вторая ступень ЗНЗ Io>>
- В случае использовании схемы логической защиты шин, требуется прокладка дополнительных проводных связей от реле фидеров к логическому входу вышестоящего реле
- Выдержка времени таймера логической селективности вышестоящего реле должна согласовываться по времени со ступенями I>> и Io>> нижестоящих реле.

Пример программирования:

Логическая селективность между P220 установленных на отходящих фидерах питания электродвигателей и MiCOM P122 установленном на вводе.

Реле MiCOM P220

Меню PROTECTION (УСТАВКИ): подменю SHORT-CIRCUIT (ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА) [50/51]

Обозначение	Функция	Программирование
ФУНКЦИЯ I>>?	Ввод в работу защиты от КЗ (I>>)?	Да
tI>>	Выдержка времени ступени	100 мс

Меню PROTECTION (УСТАВКИ): подменю EARTH FAULT (ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ) [50N/51N]

Обозначение	Функция	Программирование
ФУНКЦИЯ Io>>?	Ввод в работу второй ступени защиты от замыканий на землю (Io>>)?	Да
tIo>>	Выдержка времени ступени	100 мс

Меню АВТОМАТ. CTRL (АВТОМАТИКА):
Подменю AUX OUTPUT (ВЫХОДНЫЕ РЕЛЕ)

	5	4	3	2
Назначение: I>>	1	0	0	0
Назначение: Io>>	1	0	0	0

Мгновенная информация о превышении уставки тока срабатывания одной из ступеней (I>> или Io>>) в P220 назначена на срабатывание выходного реле RL5.

Реле MiCOM P122 (или P123 или P14x)

Меню PROTECTION (УСТАВКИ): подменю [50/51] PHASE O/C (MT3)

Обозначение	Функция	Программирование
[51] l>>	Ввод в работу второй ступени MT3 (l>>)?	Да
tl>>	Выдержка времени второй ступени MT3	100 мс

Меню PROTECTION (УСТАВКИ): подменю [50/51] E/Gnd (3НЗ)

Обозначение	Функция	Программирование
[51N] le>>	Ввод в работу второй ступени 3НЗ (le>>)?	Да
tle>>	Выдержка времени второй ступени 3НЗ	100 мс

Меню AUTOMAT.CTRL (АВТОМАТИКА): подменю INPUTS (ВХОДЫ)

Обозначение	Функция	Программирование
INPUT 2 (ВХОД 2)	Конфигурирование логического входа №2 на прием сигнала логической селективности	Sel Log 1 (ЛОГ.СЕЛ.1)

Меню AUTOMAT.CTRL (АВТОМАТИКА): подменю SEL LOG1 (ЛОГ.СЕЛ.1)

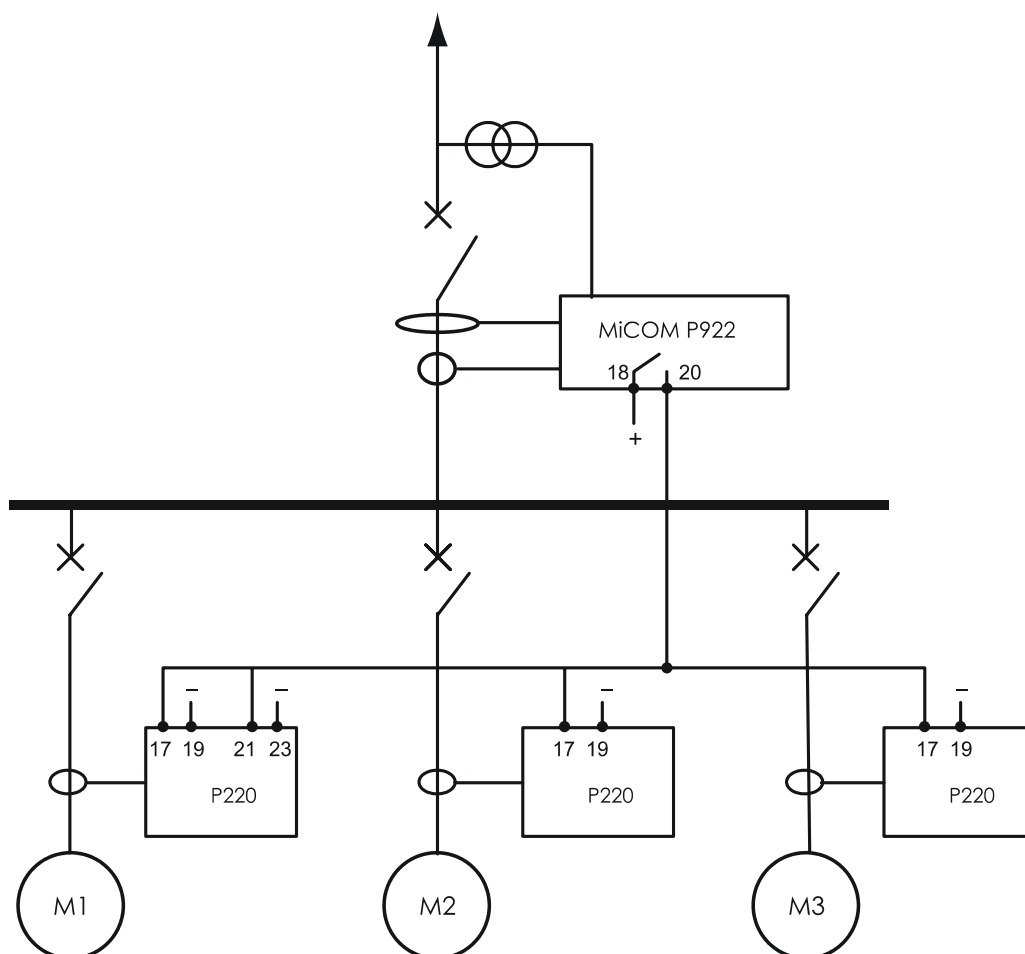
Обозначение	Функция	Программирование
SEL1 tl>> (ЛОГ.СЕЛ.1 tl>>)	Использование функции логической селективности на временное блокирование таймера второй ступени MT3 (l>>)?	Да
SEL1 tle>> (ЛОГ.СЕЛ.1 tle>>)	Использование функции логической селективности на временное блокирование таймера второй ступени 3НЗ (le>>)?	Да
tSEL 1 (t ЛОГ.СЕЛ.1)	Выдержка времени таймера связанного с логикой селективности 1	350 мс

4.2 Разрешение самозапуска – отключение нагрузки при перерывах питания

Рассмотрим схему с тремя электродвигателями M1, M2 и M3 питающимися с одних шин. Для определения отсутствия напряжения на шинах используется реле MiCOM P922. Каждое реле MiCOM P220 получает на свой логических вход сигнал от P922 о исчезновении напряжения на шинах.

Требуется следующая работа схемы:

- При перерыве питания не более 250 мс, разрешается самозапуск электродвигателя M1. Если перерыв питания более 250 мс то электродвигатель M1 должен быть остановлен.
- При перерывах питания более 100 мс, электродвигатели M2 и M3 должны быть остановлены.



Программирование реле P220 связанное с двигателем M1:

Подменю REACCEL AUTHORIZ (РАЗРЕШЕНИЕ/ЗАПРЕТ САМОЗАПУСКА)

Function Authorization of re-acceleration enabled? (Ввод в работу функции разрешения/запрета самозапуска?)	Да
T _{геасс} (Максимально допустимый перерыв питания для разрешения/запрета самозапуска)	250 мс

Подменю INPUTS (ВХОДЫ)

Назначение входа № 3	NONE (НЕ НАЗНАЧЕН)
Назначение входа № 4	EXT 1 (ВНЕС. 1)
Назначение входа № 5	VOLT. DIP (ПОТЕРЯ ПИТАНИЯ)
tEXT1 (время таймера ВНЕС.1)	250 мс

Логический вход № 4 используется для останова электродвигателя в случае продолжительного исчезновения питания, логический вход № 5 используется для разрешения/запрета самозапуска.

Меню AUTOMAT.CTRL (АВТОМАТИКА): подменю TRIP OUTPUT RELAY (ВЫХОДНОЕ РЕЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ)

EXT1 ? (Выполнять отключение по истечению выдержки времени таймера ВНЕС.1)	Да
--	----

По истечении выдержки времени таймера запускающегося по сигналу на логическом входе назначенным EXT1 срабатывает выходное реле отключения (RL1).

Программирование реле P220 связанных с двигателями M2 и M3:

Подменю REACCEL AUTHORIZ (РАЗРЕШЕНИЕ/ЗАПРЕТ САМОЗАПУСКА)

Function Authorization of re-acceleration enabled? (Ввод в работу функции разрешения/запрета самозапуска?)	Нет
T _{реacc} (Максимально допустимый перерыв питания для разрешения/запрета самозапуска)	0,2 сек

Подменю INPUTS (ВХОДЫ)

Назначение входа № 3	NONE (НЕ НАЗНАЧЕН)
Назначение входа № 4	EXT 1 (ВНЕС. 1)
Назначение входа № 5	NONE (НЕ НАЗНАЧЕН)
tEXT1 (время таймера ВНЕС.1)	100 мс

Логический вход № 4 используется для останова электродвигателя в случае продолжительного исчезновения питания на время более 100 мс.

Меню AUTOMAT.CTRL (АВТОМАТИКА): подменю TRIP OUTPUT RELAY (ВЫХОДНОЕ РЕЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ)

EXT1 ? (Выполнять отключение по истечению выдержки времени таймера ВНЕС.1)	Да
--	----

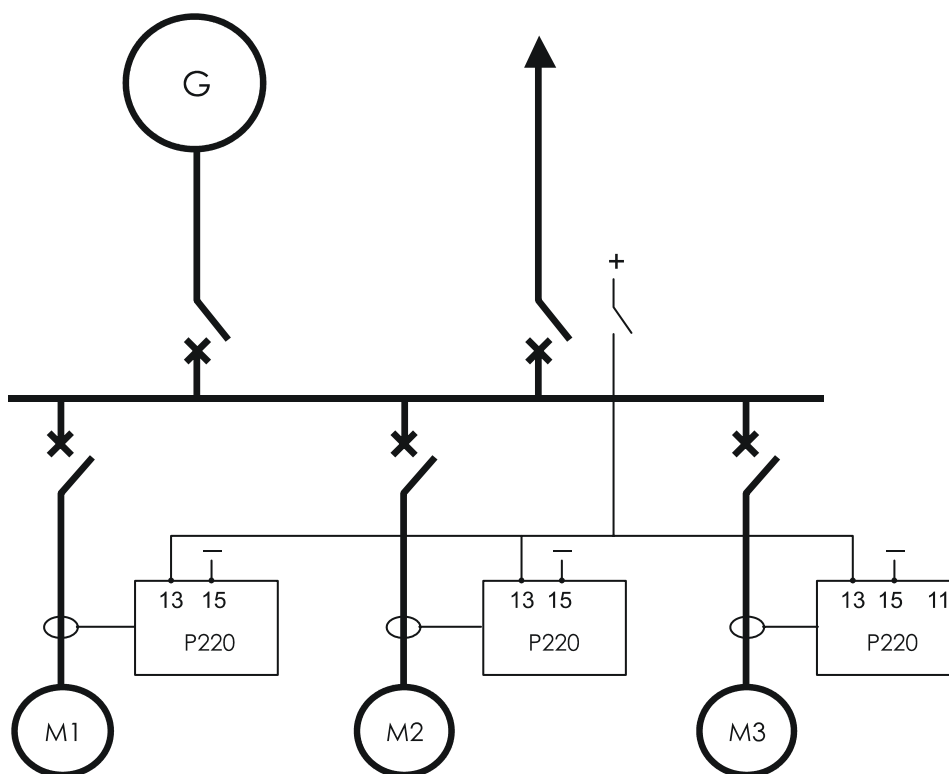
По истечении выдержки времени таймера EXT1 срабатывает выходное реле отключения (RL1).

4.3 Группы уставок

Если электрическая сеть может питаться от двух различных источников питания, то реле может использовать две различные группы уставок индивидуально адаптированных к параметрам сети. Например, распределительное устройство может нормально питаться от сети, но при аварийных ситуациях в сети предусмотрено питание от резервного генератора. В это случае две группы уставок реле позволяют выбрать уставки защит в соответствии с режимом питания.

Переход с одной группы уставок на другую должен осуществляться всякий раз когда изменяется режим питания (распределительная сеть/резервный генератор). При изменении режима питания на логический вход реле выделенный для этого должен подаваться импульс.

Кроме этого практическое применение двух групп уставок может быть использовано для двухскоростных электродвигателей. Для таких двигателей можно было бы использовать группу уставок №1 при работе на первой (пониженной скорости) и группу уставок №2 при работе на второй (повышенной скорости). При каждом переходе с одной скорости на другую на логический вход реле должен подаваться импульс для перехода с одной группы уставок на другую.



Программирование реле P220 связанных с двигателями M1, M2 и M3:

Меню AUTOMAT.CTRL (АВТОМАТИКА): Подменю INPUTS (ВХОДЫ)

Назначение входа № 3	SET GROUP (ВЫБОР.КОНФ.)
----------------------	-------------------------

Логический вход № 3 используется для перевода реле с одной группы уставок на другую.

5. ЛИТЕРАТУРА

- Moteurs asynchrones triphasés fermés, AREVA Réseau Commercial France
- Guide de l'ingénierie électrique, ELECTRA, Lavoisier
- Protective relays APPLICATION GUIDE, AREVA
- Electrotechnique Industrielle, Guy SEGUIER Francis NOTELET, Lavoisier
- Symmetrical components for power systems engineering, J.Lewis
BLACKBURN

6. ПРИЛОЖЕНИЕ А: РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Выбор электродвигателей для различных режимов работает выполняется в соответствии с действующими руководящими документами и не входит в объем настоящего документа.

Дополнительная информация по вопросам выбора электрических машин приведена в Справочнике по электрическим машинам, Том.1 глава Выбор электродвигателя, п. 6.3.3 (стр. 121)

7. ПРИЛОЖЕНИЕ В: ИНФОРМАЦИЯ НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ВЫБОРА УСТАВОК РЕЛЕ

Максимальный ток трехфазного замыкания на выводах электродвигателя
Режим зеземления нейтрали сети питающей электродвигатель
Характеристики предоставляемые изготовителем электродвигателя
<ul style="list-style-type: none"> – Номинальная мощность – Номинальное напряжение – Номинальный ток – Тип пуска (прямое включение, плавный пуск) – Пусковой ток (кратность к номинальному) – Ток прямого пуска (если используется плавный пуск) – Время (продолжительность) пуска – Максимальная повторяемость частоты пусков – Время термической стойкости при остановленном роторе (при пуска из горячего и холодного состояния) – Характеристика нагревания электродвигателя – Переходные характеристики при несимметричных режимах работы, длительно допустимая несимметрия – Используемый режим работы (тип приводного механизма: компрессор, мельница, насос, вентилятор ...) – Ток холостого хода (для защиты при потере нагрузки)
Коэффициенты трансформации/преобразования измеряемых величин (ТТ, ТН и ТТ нулевой последовательности)
Назначение контактов выходных реле устройства защиты