

4.1.7 Защита от тепловой перегрузки двигателей MPTTR

4.1.7.1 Обозначение

Описание функции	Обозначение МЭК 61850	Обозначение МЭК 60617	Обозначение ANSI/IEE C37.2
Защита от тепловой перегрузки двигателей	MPTTR	3Ith>M	49M

4.1.7.2 Функциональный блок

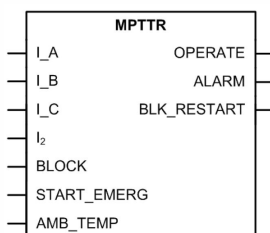


Рисунок 82. Функциональный блок

4.1.7.3 Функциональные возможности

Функция защиты от тепловой перегрузки MPTTR защищает электрические двигатели от перегрева. Функция MPTTR моделирует тепловое поведение электродвигателя на базе измеряемого тока нагрузки и отключает двигатель, когда значение тепловой функции достигает 100%. Чаще всего аномальные режимы промышленных электродвигателей приводят к тепловой перегрузке. Тепловая перегрузка чаще всего является результатом аномального повышения рабочего тока двигателя, приводящего к повышению теплового рассеяния и температуры двигателя, или к уменьшению охлаждения. Функция MPTTR предотвращает перегрев, которые приводят к преждевременному пробое изоляции обмоток и, в худших случаях, к короткому замыканию в обмотке двигателя.

4.1.7.4 Принцип действия

Ввод/Вывод функции осуществляется при помощи уставки [Активизация](#). Соответствующие значения этого параметра – «Вкл.» и «Выкл.». Действие функции

защиты двигателя от тепловой перегрузки можно описать при помощи схемы. Все компоненты схемы описаны в следующих разделах.

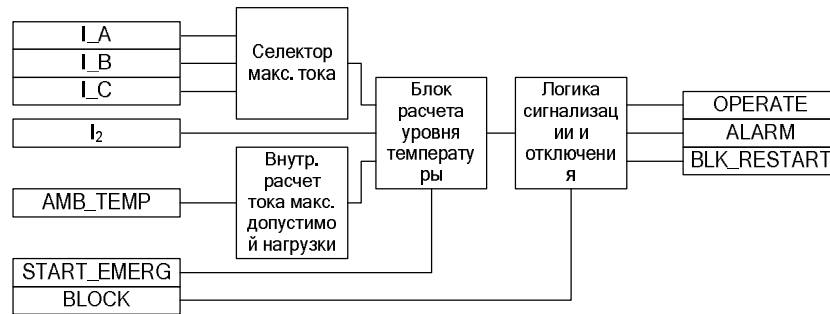


Рисунок 83. Схема функционального блока

Выбор максимального тока

Селектор максимального тока функции непрерывно проверяет самое высокое измеренное значение TRMS фазного тока. Селектор сообщает самое высокое значение тока в Блок расчета уровня температуры.

Внутренний расчет FLC (ток максимально допустимой нагрузки)

FLC двигателя определяется производителем при температуре окружающей среды 40°C. При использовании двигателя в условиях температуры окружающей среды выше или ниже 40°C нужны специальные расчеты. Двигатель, работающий при повышенной температуре, даже при номинальной нагрузке или при нагрузке ниже номинальной, подвергает обмотки двигателя воздействию повышенной температуры, подобно тому, как это бывает в результате перегрузки при нормальной температуре окружающей среды. При такой повышенной температуре окружающей среды номинальные характеристики двигателя необходимо уменьшить для работы в условиях таких повышенных температур. Точно так же, когда температура окружающей среды существенно ниже номинальной температуры окружающей среды 40°C, оказывается, что двигатель нагружен выше номинала. Для расчета теплового уровня будет лучше, если значения FLC будут масштабироваться для различных температур. Масштабированный ток известен как внутренний FLC. Внутренний FLC рассчитывается на основании температуры окружающей среды, которая приводится в таблице. Именно от уставки [РежимИзмерТемпер](#) будет зависеть, будут ли расчеты теплового уровня основаны на FLC или на внутреннем FLC.

Когда выбирается уставка **«Только FLC»** для параметра [«РежимИзмерТемпер»](#) внутренний FLC не рассчитывается. Вместо этого используется значение FLC, которое приведено в спецификации производителя. Когда выбирается уставка **«Температура задана»** для параметра [«РежимИзмерТемпер»](#), внутреннее значение FLC рассчитывается на базе температуры окружающей среды, полученной в качестве входных данных при помощи уставки параметра [«Темпер. окр. среды»](#).

Таблица 179. Изменение внутреннего значения FLC

Температура окружающей среды, T _{окр}	Внутреннее значение FLC
< 20°C	FLC × 1,09
От 20 до <40°C	FLC × (1,18 – T _{окр} × 0,09/20)
40°C	FLC
> 40 до 65°C	FLC × (1 – [(T _{окр} – 40)/100])
> 65°C	FLC × 0,75

Температура окружающей среды используется для расчета теплового уровня, просмотреть ее можно через меню **«Данные мониторинга»** выхода TEMP_AMB. Активация входа BLOCK не оказывает влияния на выход TEMP_AMB.

Уставка параметра «Темпер. окруж. среды» используется:

- Если измеренные значения температуры окружающей среды не подключены к входу AMB_TEMP в АСТ.
- Когда в функции RTD выбрана уставка «Не используется» для измеренных значений температуры окружающей среды, подключенных к 49М.
- При возникновении любых ошибок или неправильном функционировании выхода RTD.

Расчет теплового уровня

Модуль рассчитывает тепловую нагрузку с учетом истинного среднеквадратического (действующего) значения тока (TRMS) и значения тока обратной последовательности. Нагревание двигателя определяется значением тока нагрузки в квадрате.

Однако при несимметричных фазных токах ток обратной последовательности также приводит к дополнительному нагреванию. Используя защиту, основанную на использовании обеих составляющих тока, можно избежать перегрева двигателя.

Тепловая нагрузка рассчитывается на базе различных ситуаций или операций, и также зависит от уровня фазного тока. Далее приводятся уравнения, используемые для расчетов нагревания:

$$\theta_B = \left[\left(\frac{I}{k \times I_{ном}} \right)^2 + K_2 \times \left(\frac{I_2}{k \times I_{ном}} \right)^2 \right] \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \times p\% \quad (9)$$

$$\theta_A = \left[\left(\frac{I}{k \times I_{ном}} \right)^2 + K_2 \times \left(\frac{I_2}{k \times I_{ном}} \right)^2 \right] \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

Где:

- I Истинное среднеквадратическое значение (TRMS) измеренных максимальных фазных токов
- I_{ном} Заданный Номинальный ток, FLC или внутренний FLC
- I₂ Измеренный ток обратной последовательности

k	Коэффициент перегрузки
K ₂	Коэф обр послед
p	Весовой коэф. p
τ	Постоянная времени

Уравнение θ_B используется, когда значения всех фазных токов ниже предела перегрузки, т.е., $k \times I_{ном}$. Уравнение θ_A используется, когда значение любого из фазных токов превышает предел перегрузки.

При перегрузке блок расчета теплового уровня определяет значение θ_B в фоновом режиме, а когда состояние тепловой перегрузки заканчивается, тепловой уровень линейно преобразуется из θ_A в θ_B со скоростью 1,66 процента в секунду. Для неработающего двигателя, т.е. когда ток ниже значения $0,12 \times I_{ном}$, охлаждение выражается следующей формулой:

$$\theta = \theta_{02} \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

(уравнение 11)

Где:

θ_{02} Начальный уровень тепловой перегрузки при охлаждении

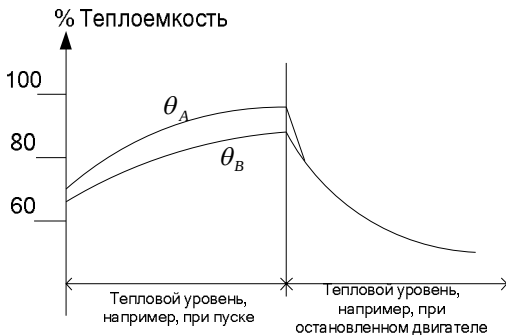


Рисунок 84. Тепловая характеристика

Требуемый коэффициент перегрузки и коэффициент теплового воздействия тока обратной последовательности определяются значениями уставок *Коэфф перегрузки* и *Коэф обр послед*.

Для точного расчета оптимальной тепловой нагрузки в приведенных выше уравнениях используются различные постоянные времени. Эти постоянные времени используются на основании различных условий работы двигателя, например, при пуске двигателя, при нормальной работе или при остановке двигателя, и определяются уставками *ПостВрем.Пуск*, *ПостВрем.Норм* и *ПостВрем.Стоп*. Единоновременно достоверной является лишь одна постоянная.

Таблица 180. Зависимость Постоянной времени от соответствующего значения фазного тока

Постоянная времени (τ)	Фазный ток
ПостВрем.Пуск	Все токи, значения которых превышают $2,5 \times I_{ном}$
ПостВрем.Норм	Все токи, значения которых превышают $0,12 \times I_{ном}$ и все

Постоянная времени (τ)	Фазный ток
	токи, которые ниже $2,5 \times I_{ном}$
ПостВрем.Стоп	Все тока, значения которых ниже $0,12 \times I_{ном}$

Уставка *Весовой коэф. p* определяет коэффициент повышения температуры двух кривых – θ_A и θ_B .

Тепловой уровень при включении питания устройства определяется уставкой *НачТепловЗнач.*

Расчет температуры начинается со значения, определяемого уставкой *НачТепловЗнач.* Расчет выполняется при включении интеллектуального устройства, при выводе и повторном вводе функции, или при сбросе при помощи меню «Сброс».

Расчетную температуру защищаемого объекта по отношению к рабочему уровню, выход **TEMP_RL**, можно увидеть через меню «Данные мониторинга». Активация входа **BLOCK** не оказывает воздействия на расчетную температуру.

Тепловой уровень в момент пуска двигателя или в конце пуска двигателя можно получить через меню «Данные мониторинга» на выходах **THERMLEV_ST** и **THERMLEV_END** соответственно. Активация входа **BLOCK** на эти выходы не оказывает никакого влияния.

Логика сигнализации и отключения

Модуль генерирует сигналы тревоги, запрета повторного пуска и отключения.

Когда тепловой уровень превышает заданное значение уставки *Уровень сигнализ.*, активируется выход **ALARM**. Иногда возникает необходимость запрета повторного пуска двигателя, например, при наличии определенного пускового условия, как, например, длительный пуск. Если значение тепловой перегрузки превышает значение уставки *Уровень перезапуска*, активируется выход **BLK_RESTART**. Время следующего возможного пуска двигателя можно просматривать через меню «Данные мониторинга» выхода **T_ENARESTART**. Выход **T_ENARESTART** оценивает время для блокировки **BLK_RESTART** с учетом того, что двигатель остановлен.

При подаче сигнала аварийного пуска **START_EMERG**, тепловой уровень устанавливается на значение, которое ниже уровня запрета повторного пуска. Это позволяет выполнить, по меньшей мере, один пуск двигателя, даже если значение тепловой перегрузки превысило уровень запрета повторного пуска.

Когда значение тепловой перегрузки достигнет 100%, активируется выход **OPERATE**. Выход **OPERATE** блокируется, когда значение измеренного тока опустится ниже 12% от значения уставки *Номинальный ток*, или значение тепловой функции опустится ниже 100%.

При активации входа **BLOCK** блокируются выходы **ALARM**, **BLK_RESTART** и **OPERATE**.

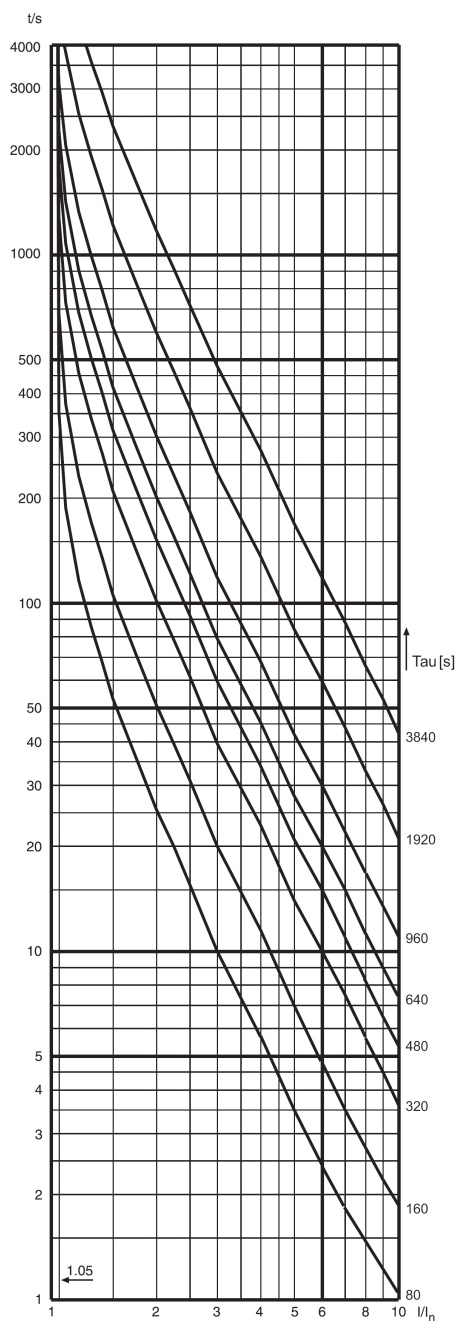


Рисунок 85. Кривые отключения без предшествующей нагрузки, при $p=20\ldots 100\%$.
Коэффициент перегрузки = 1,05.

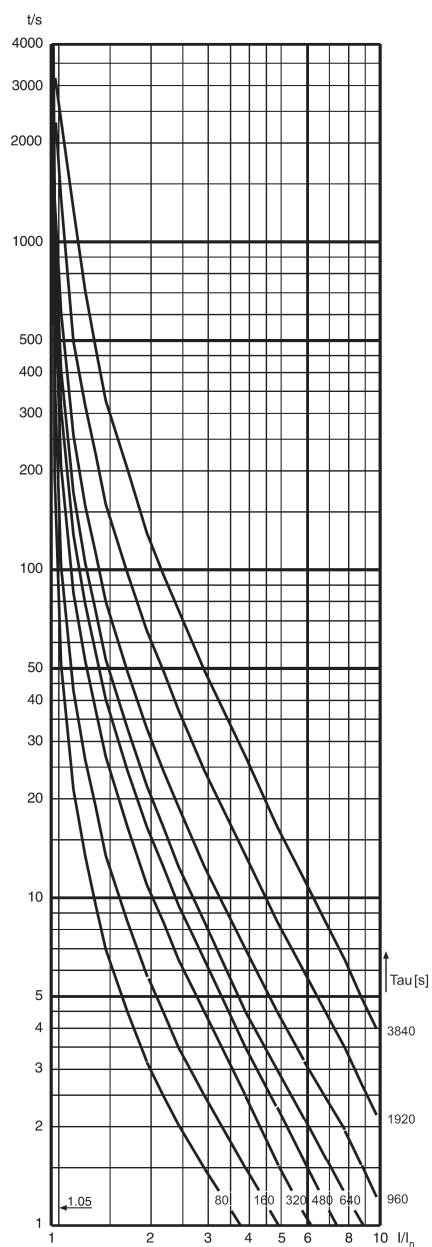


Рисунок 86. Кривые отключения под нагрузкой $1 \times FLC$ и $p=100\%$, Коэффициент перегрузки $=1,05$.

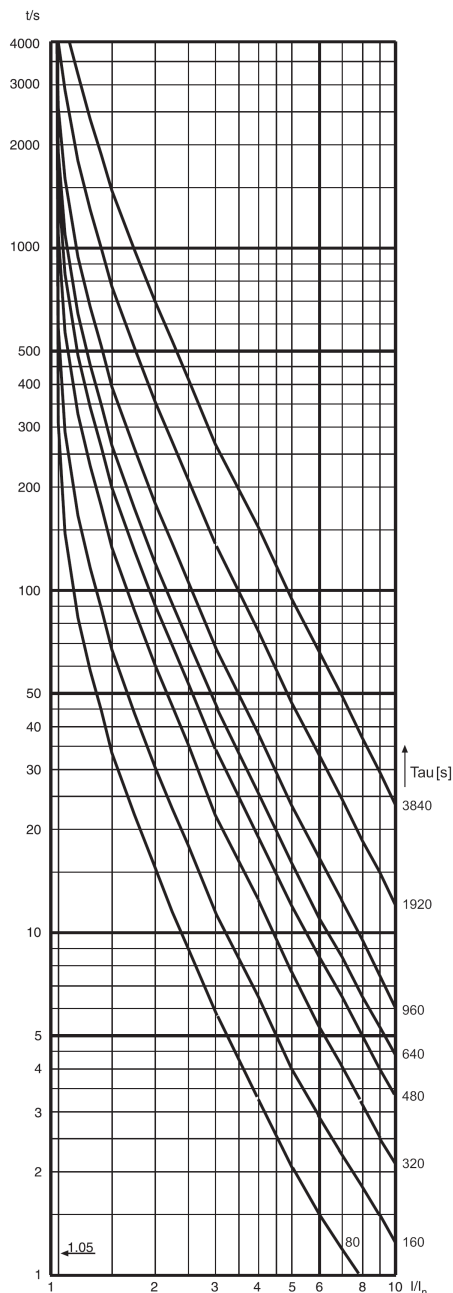


Рисунок 87. Кривые отключения под нагрузкой $1 \times FLC$ и $p=50\%$. Коэффициент перегрузки = 1,05

4.1.7.5 Назначение

Функция MPTTR предназначена для ограничения теплового уровня двигателя при аномальных режимах работы предварительно заданными значениями. Это предотвращает преждевременное повреждение изоляции двигателя.

Аномальные условия, приводящие к перегреву, включают перегрузку, опрокидывание, отказ при пуске, высокую температуру окружающей среды, ограничение вентиляции

двигателя, снижение скорости работы двигателя, многократный пуск или толчковый режим работы двигателя, высокое или низкое напряжение или частоты сети, механическое повреждение ведомой нагрузки, неправильную установку, несимметричное напряжение сети или работу с обрывом одной фазы. Защита от пробоя изоляции путем реализации считывания тока не может обнаружить некоторые из этих условий, например, такие как, недостаточная вентиляция. Так же работа защиты может быть некорректной в случаях многократного пуска или при толчковом режиме работы двигателя. Защита от тепловой перегрузки обращает внимание на эти недостатки в большей степени, за счет использования тепловой модели двигателя, основанной на токе нагрузки.

Тепловая нагрузка рассчитывается с использованием истинного среднеквадратического значения (True RMS) тока и значения тока обратной последовательности. Нагрев двигателя определяется квадратом значения тока нагрузки. Однако при расчете теплового уровня значение номинального тока должно быть пересмотрено или снижено, в зависимости от температуры окружающей среды. Кроме тока используется постоянная времени нагревания или охлаждения двигателя.

Уставки весового коэффициента

Есть две кривые нагрева: одна кривая, отражающая кратковременные нагрузки и длительные перегрузки, используется для отключения, а другая кривая используется для контроля теплового режима двигателя. Значение уставки параметра «*Весовой коэф. р*» определяет коэффициент повышения температуры двух кривых.

"*Весовой коэф. р* = 100" выбирается блоком тепловой защиты для объектов с одной постоянной времени (кабели). Как показано на Рисунке 87, горячая кривая "*Весовой коэф. р* = 100 %" разрешает время включения, которое составляет только 10 % времени включения без предшествующей нагрузки. Например, когда заданная постоянная времени составляет 640 секунд, время срабатывания с предшествующей нагрузкой 1 x FLC (тока максимально допустимой нагрузки) и коэффициентом перегрузки 1,05 составляет только две секунды, даже в том случае, если двигатель способен работать в таком режиме как минимум от 5 до 6 секунд. Для более эффективного использования мощности двигателя необходимо использовать меньшую уставку параметра «*Весовой коэф. р*».

Обычно при работе двигателя с полной нагрузкой используется приблизительно половина теплостойкости. Таким образом, устанавливая *Весовой коэф. р* = 50%, устройство извещает, что при полной нагрузке используется от 45 до 50% теплостойкости.

Для электродвигателей с прямым пуском от сети, имеющих тенденцию к локальному перегреву, значение *Весовой коэф. р* обычно устанавливается на «50%», что соответствующим образом позволяет распознать кратковременное температурное напряжение и данные о температуре за продолжительный период времени. После короткого периода температурного напряжения, например, при пуске двигателя, тепловой уровень начинает довольно резко уменьшаться, сглаживая места локального перегрева. Соответственно, возрастает вероятность последующих разрешенных пусков.

При защите объектов, не имеющих тенденции к локальному перегреву, например, двигателей с запуском от устройств плавного пуска, кабелей, значение *Весовой коэф. p* устанавливается на «100%». Если значение *Весовой коэф. p* установлено на «100%», тепловой уровень после большой нагрузки снижается медленно. Это делает защиту пригодной для тех случаев, где не ожидается появления мест локального перегрева. Только в особых случаях, когда необходимо, чтобы защита от тепловой перегрузки работала в соответствии с характеристиками защищаемого объекта, и при этом теплоемкость объекта хорошо известна, нужно использовать значение от 50 до 100 процентов.

В применениях, где разрешено два пуска из горячего состояния вместо трех пусков из холодного состояния, значение уставки «*Весовой коэф. p* = 40%» доказало свою эффективность. Задание уставки «*Весовой коэф. p* » на величину существенно ниже 50% следует использовать с осторожностью, так как имеется вероятность перегрузки защищаемого объекта, так как блок тепловой защиты может разрешить слишком много горячих пусков, или же не были в достаточной степени учтены данные о температуре за период времени.

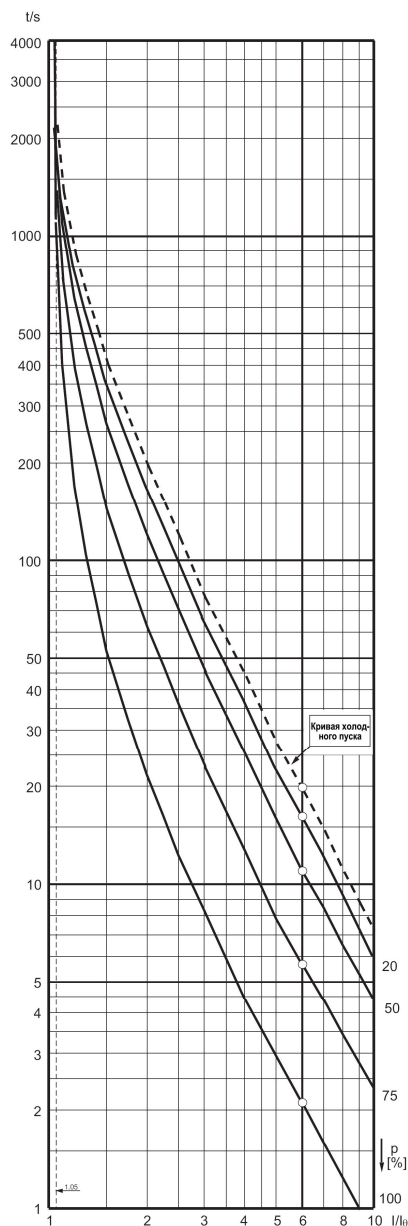


Рисунок 88. Влияние уставки «Весовой коэф. p » на предшествующую нагрузку $1 \times FLC$, постоянная времени = 640 секунд, и Коэф. перегрузки = 1,05

Уставки коэффициента перегрузки

Значение уставки *Коэф. перегрузки* позволяет использовать всю тепловую емкость двигателя. Обычно используется значение 1,05. Значение *Коэф. перегрузки* должно быть выше для двигателей, которые могут выдерживать большую перегрузку без отключения.

Уставки коэффициента обратной последовательности

В условиях несимметрии, симметрия токов статора нарушается, и возникает ток обратной последовательности с обратным чередованием фаз. Увеличение тока статора вызывает дополнительное нагревание статора и слишком сильное нагревание ротора током

обратной последовательности. Могут также возникать механические проблемы, такие как вибрация ротора.

Наиболее частой причиной небаланса трехфазных двигателей является обрыв фазы вследствие перегорания предохранителя, отключения соединителя или обрыва проводника. Часто проблемы механического характера могут быть гораздо серьезнее, чем простое нагревание, и, следовательно, здесь используется отдельная защита от небаланса.

На двигатель также может оказывать влияние небаланс других подключенных нагрузок на той же шине. Небаланс напряжения приводит к возникновению небаланса тока в 5-7 раз выше. Так как защита от тепловой перегрузки основывается на самом высоком значении TRMS (Истинное среднеквадратическое значение) фазного тока, то автоматически учитывается дополнительное нагревание обмотки статора. Для построения более точной тепловой модели используется уставка *Коэф обр послед*, чтобы можно было учесть нагревание ротора.

$$\text{Коэф обр послед} = \frac{R_{R2}}{R_{R1}} \quad (12)$$

R_{R2} Сопротивление прямой последовательности ротора

R_{R1} Сопротивление обратной последовательности ротора

Можно рассчитать уставку с завышением погрешностей:

$$\text{Коэф обр послед} = \frac{175}{I_{LR}^2}$$

I_{LR} ток на заторможенном роторе (кратное уставки *Номинальный ток*. Такой же, как и ток в момент пуска двигателя.

Например, если номинальный ток двигателя составляет 230 А, пусковой ток составляет $5,7 \times I_{ном}$,

$$\text{Коэф обр послед} = \frac{175}{5,7^2} = 5,4$$

Задание уровня температуры для выполнения перезапуска

$$\theta_i = 100\% - \left(\frac{\text{время_запуска_двигателя}}{\text{время_срабат_без_предшес_нагрузки}} \times 100\% + \text{запас} \right) \quad (\text{уравнение 13})$$

Например, время пуска двигателя составляет 11 секунд, пусковой ток равен $6 \times I_{ном}$, а уставка параметра «ПостВрем.Пуск» равна 800 секунд. При использовании характеристики срабатывания без предшествующей нагрузки, время срабатывания при пуске с током $6 \times I_{ном}$ составляет 25 секунд, при одном пуске двигателя используется $11/25 \approx 45$ процентов теплоемкости двигателя. Следовательно, уровень блокировки повторного пуска должен устанавливаться, например, менее чем на 50% ($100\% - 45\% = 55\%$), ($100\% - (45\% + \text{запас})$, где запас составляет 5%).

Уставки уровня тепловой сигнализации

Отключения двигателя из-за больших перегрузок можно избежать за счет снижения нагрузки двигателя после срабатывания предупредительной сигнализации.

Уставка *Уровень сигнализ.* устанавливается на уровень, который позволяет использовать полную тепловую емкость двигателя, не вызывая отключения в результате длительной перегрузки. Обычно уровень предупредительной сигнализации устанавливается на 80% - 90% от значения уровня отключения.

4.1.7.6 Сигналы

Таблица 181. Входные сигналы функции MPTTR

Обозначение	Тип	По умолчанию	Описание
I_A	SIGNAL	0	Ток в фазе А
I_B	SIGNAL	0	Ток в фазе В
I_C	SIGNAL	0	Ток в фазе С
I ₂	SIGNAL	0	Ток обратной последовательности
BLOCK	BOOLEAN	0=Ложь	Вход активации режима блокировки
START_EMERG	BOOLEAN	0=Ложь	Сигнал, указывающий на необходимость аварийного запуска
TEMP_AMB	FLOAT32	0	Температура окружающей среды, используемая в расчетах

Таблица 182. Выходные сигналы функции MPTTR

Обозначение	Тип	Описание
OPERATE	BOOLEAN	Срабатывание
ALARM	BOOLEAN	Тепловая сигнализация
BLK_RESTART	BOOLEAN	Сигнал о тепловой перегрузке для запрета повторного включения

4.1.7.7 Уставки

Таблица 183. Групповые уставки функции MPTTR

Наименование параметра	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Шаг	По умолч.	Описание
Коэфф перегрузки	1,00...1,20		0,01	1,05	Коэффициент перегрузки (k)
Уровень сигнализ.	50,0...100,0	%	0,1	95,0	Тепловой уровень, при превышении которого функция выдает сигнал
Уровень перезапуска	20,0...80,0	%	0,1	40,0	Тепловой уровень, выше которого функция запрещает повторный запуск двигателя
Коэф обр послед	0,0...10,0		0,1	0,0	Коэффициент теплового эффекта для тока обратной последовательности

Наименование параметра	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Шаг	По умолч.	Описание
Весовой коэф. р	20,0...100,0	%	0,1	50,0	Весовой коэффициент (р)
ПостВрем.Норм	80...4000	с	1	320	Постоянная времени нагрева двигателя при нормальной работе
ПостВрем.Пуск	80...4000	с	1	320	Постоянная времени нагрева двигателя при запуске
ПостВрем.Стоп	80...8000	с	1	500	Постоянная времени охлаждения двигателя при остановке двигателя
РежимИзмерТемпер	1=Только FLC 2=ИспользВход 3=Температура задана			1=Только FLC	Режим измерения температуры окружающей среды
Темпер. окруж. среды	-20,0...70,0	°C	0,1	40,0	Заданное значение температуры, используемое при отсутствии внешних датчиков температуры

Таблица 184. Общие уставки функции MPTTR

Наименование параметра	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Шаг	По умолч.	Описание
Активизация	1=Вкл 5=Выкл			1=Вкл	Активизация Выкл / Вкл
Номинальный ток	0,30...2,00	$\times I_{ном}$	0,01	1,00	Номинальный ток (FLC) двигателя
НачТепловЗнач	0,0...100,0	%	0,1	74,0	Начальный тепловой уровень двигателя

4.1.7.8 Контролируемые данные

Таблица 185. Контролируемые данные функции MPTTR

Наименование параметра	Тип	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Описание
TEMP_RL	FLOAT32	0,00...9,99		Расчетная температура объекта относительно температуры срабатывания
THERMLEV_ST	FLOAT32	0,00...9,99		Тепловой уровень в начале режима пуска двигателя
THERMLEV_END	FLOAT32	0,00...9,99		Тепловой уровень в конце пуска двигателя
T_ENARESTART	INT32	0...99999	с	Расчетное время сброса блокировки повторного пуска
MPTTR	Enum	1= вкл		Состояние

Наименование параметра	Тип	Значения (Диапазон)	Ед. измер.	Описание
		2=заблокировано 3= Тестирование 4= Тест/Заблокировано 5=выкл		

4.1.7.9 Технические данные

Таблица 186. Технические данные функции MPTTR

Характеристики	Значение
Погрешность срабатывания	В зависимости от частоты измеряемого тока: $f_n \pm 2$ Гц
	Измерения по току: $\pm 1,5\%$ от уставки или $\pm 0,002 \times I_n$ (при токе в диапазоне $0,01 \dots 4,00 \times I_n$)
Погрешность времени срабатывания ¹⁾	$\pm 2,0\%$ или $\pm 0,50$ с

1) Ток перегрузки $> 1,2 \times$ Температура срабатывания

4.1.7.10 Данные о технических изменениях функции

Таблица 187. Данные об изменениях функции MPTTR

Версия	Изменение
В	Добавлен новый вход AMB_TEMP Добавлен новый параметр для уставки <i>РежимИзмерТемпер</i> – «ИспользуйВход».