

Защита электродвигателей средней и большой мощности

ООО «НТЦ «Механотроника»
www.mtrele.ru

Инженер бюро системотехники,
Михалев С.В.

Назначение блоков релейной защиты двигателей НТЦ «Механотроника»

- ✓ ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДВУХСКОРОСТНЫХ
- ✓ ЗАЩИТА СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
- ✓ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЕЙ
- ✓ ЗАЩИТА ПРИСОЕДИНЕНИЙ 6-35кВ

Типы блоков релейной защиты двигателей НТЦ «Механотроника»

- БМРЗ-ДА-01-02-12 – защита двухскоростных
- БМРЗ-ДА-01-02-13 – защита двухскоростных
- БМРЗ-ДА-04-47-12 – защита присоединений
- БМРЗ-ДА-05-02-11 – защита двухскоростных
- БМРЗ-ДА-06-95-11 - защита двигателей 6кВ
- БМРЗ-ДА-07-31-12 – защита присоединений
- БМРЗ-ДА-09(10)-32-11 - защита двигателей 6кВ и кабельных линий напряжением 3 - 10 кВ
- БМРЗ-ДД-00(01)-04-11 – защита синхронных мощности
- БМРЗ-ДС-00-01-11 – специальные защиты с большой мощности
- БМРЗ-105-ДД-01 – защита электродвигателей



- БМРЗ-ДА-10(11,00,01)-31-22 - защита присоединений 6кВ
- БМРЗ-ДД-10(11,00,01)-04-21 - защита синхронных и асинхронных двигателей любой мощности

Аналоговые входы блоков релейной защиты двигателей

НАЗВАНИЕ БЛОКА	ВХОДЫ ТОКА	ВХОДЫ НАПРЯЖЕНИЯ
БМРЗ-ДА-01-02-12	5 (IA1, IC1, IA2, IC2, 3I0)	2 (UAB, UBC)
БМРЗ-ДА-01-02-13	5 (IA1, IC1, IA2, IC2, 3I0)	2 (UAB, UBC)
БМРЗ-ДА-04-47-12	5 (IA1, IC1, IA2, IC2, 3I0)	3 (UAB, UBC, 3U0)
БМРЗ-ДА-05-02-11	4 (IA1, IC1, IA2, IC2)	3 (UAB, UBC, 3U0)
БМРЗ-ДА-06-95-11	4 (IA, IB, IC, 3I0)	1 (3U0)
БМРЗ-ДА-07(08)-31-12	4 (IA, IB, IC, 3I0)	3 (UAB, UBC, 3U0)
БМРЗ-ДА-09(10)-32-11	4 (IA, IB, IC, 3I0)	3 (UAB, UBC, 3U0)
БМРЗ-ДД-00(01)-04-11	7 (HIA, HIB, HIC, BIA, BIB, BIC, 3I0)	1 (3U0)
БМРЗ-ДС-00-01-11	3 (IA, IB, IC)	2 (UAB, UBC)
БМРЗ-105-ДД-01	4 (IA1, IC1, IA2, IC2)	-

БМРЗ-ДА-10(11,00,01)-31-22	4 (IA, IB, IC, 3I0)	3 (UAB, UBC, 3U0)
БМРЗ-ДД-10(11,00,01)-04-21	7 (HIA, HIB, HIC, BIA, BIB, BIC, 3I0)	1 (3U0)

Основные функции блоков релейной защиты двигателей

НАЗВАНИЕ БЛОКА	М Т З	Л З Ш	Д г З	Д Т О	Д З Т	Д Ф О	О З З	З П П	З О Ф	З М Н	З Б Р	З З П	З Н Р	Мин. ТЗ	Т М	Контроль обратной АМ, контроль РМ	Защита от прев. кол. пусков	ВНЕШ. ЗАЩИТА	У Р О В Д
БМРЗ-ДА-01-02-12	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	4 ВХОДА	+
БМРЗ-ДА-01-02-13	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	4 ВХОДА	+
БМРЗ-ДА-04-47-12	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	5 ВХОДОВ	+
БМРЗ-ДА-05-02-11	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	4 ВХОДА	+
БМРЗ-ДА-06-95-11	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
БМРЗ- ДА-07(08)-31-12	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
БМРЗ- ДА-09(10)-32-11	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+
БМРЗ- ДД-00(01)-04-11	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+
БМРЗ-ДС-00-01-11	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
БМРЗ-105-ДД-01	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+
БМРЗ- ДА-10(11,00,01)-31-2	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	2 ВХОДА + 6 НАЗНАЧАЕМЫХ	+
БМРЗ- ДД-10(11,00,01)-04-2	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	6 ВХОДОВ	+

Дополнительные функции блоков релейной защиты двигателей

НАЗВАНИЕ БЛОКА	ДОПОЛНИТЕЛЬНО	НАЗНАЧЕНИЕ
БМРЗ-ДА-01-02-12	КОМАНДЫ ПЕРЕВОДА НА 1-ю СКОРОСТЬ, НА 2-ю СКОРОСТЬ	Защита двухскоростного двигателя 6кВ
БМРЗ-ДА-01-02-13	КОМАНДЫ ПЕРЕВОДА НА 1-ю СКОРОСТЬ, НА 2-ю СКОРОСТЬ	Защита двухскоростного двигателя 6кВ
БМРЗ-ДА-04-47-12	АПВ, АЧР/ЧАПВ, 3 НАЗНАЧАЕМЫХ ВЫХОДА	Защита присоединений 6-35кВ
БМРЗ-ДА-05-02-11	КОМАНДЫ ПЕРЕВОДА НА 1-ю СКОРОСТЬ, НА 2-ю СКОРОСТЬ	Защита двухскоростного двигателя 6кВ
БМРЗ-ДА-06-95-11	УПРАВЛЕНИЕ РЕЛЕ ФИКСАЦИИ КОМАНД, 3 НАСТРАИВАЕМЫХ ВЫХОДА, ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ НАСОСА	Защита двигателей 6кВ
БМРЗ-ДА-07(08)-31-12	АПВ, 6 НАЗНАЧАЕМЫХ ВЫХОДОВ	Защита присоединений 6-35кВ
БМРЗ-ДА-09(10)-32-11		Защита асинхронных и синхронных двигателей напряжением 6-10кВ мощностью до 5 МВт, а также защита кабельных линий 3-10кВ
БМРЗ-ДД-00(01)-04-11	АПВ, КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ	Защита синхронных и асинхронных двигателей любой мощности
БМРЗ-ДС-00-01-11	ФУНКЦИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ОТКЛЮЧЕНИЯ, ЗАЩИТА ОТ КОЛЕБАНИЙ НАГРУЗКИ, АЛГОРИТМ СТУПЕНЧАТОГО ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ, КОМАНДА ГАШЕНИЯ ПОЛЯ	Специальные защиты синхронных двигателей большой мощности, ставится вместе с блоком БМРЗ-ДА-07(08)-31-12 или БМРЗ-ДА-09(10)-32-11
БМРЗ-105-ДД-01	АПВ, АЧР/ЧАПВ	Защита электродвигателей 6-10кВ
БМРЗ-ДА-10(11,00,01)-31-22	АПВ, 6 НАЗНАЧАЕМЫХ ВЫХОДОВ	Защита присоединений 6-35кВ
БМРЗ-ДД-10(11,00,01)-04-21	АПВ, КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ	Защита синхронных и асинхронных двигателей любой мощности

Исполнение функции минимальной токовой защиты

Минимальная токовая защита обеспечивает сигнализацию и/или отключение защищаемого двигателя при его переходе в режим холостого хода

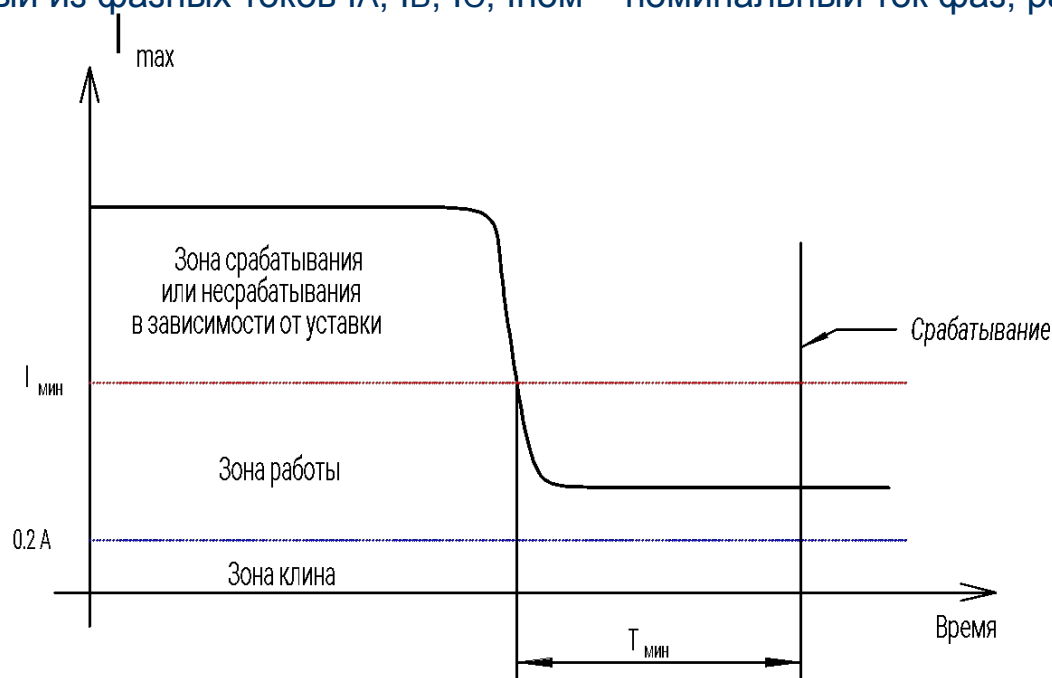
Защита срабатывает при одновременном выполнении условий:

$$I_{\max} \leq I_{\min},$$

$$I_{\min} \geq 0.2 \cdot I_{\text{ном}},$$

где I_{\max} – максимальный из фазных токов I_A, I_B, I_C ; I_{\min} – уставка по току;

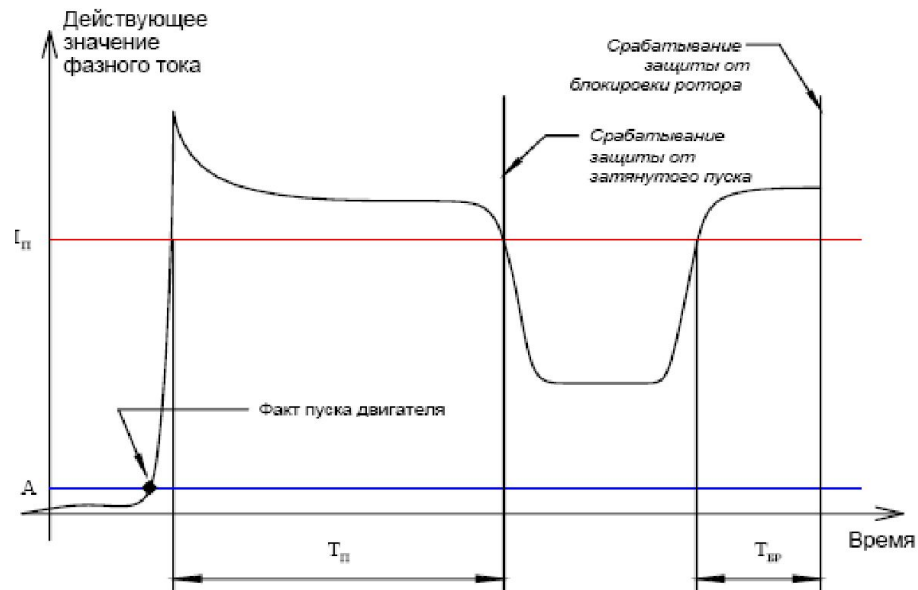
I_{\min} – минимальный из фазных токов I_A, I_B, I_C ; $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток фаз, равный 5А.



Исполнение функций защиты от блокировки ротора и затянутого пуска

Защита производит отключение защищаемого двигателя при:

- затянута пуске при продолжительной работе двигателя под чрезмерной нагрузкой;
- пуске с заблокированным или находящимся под недопустимо большой нагрузкой ротором;
- блокировании ротора после выхода двигателя на рабочий режим.



Исполнение функции тепловой модели двигателя

Моделирование нагрева осуществляется в относительных единицах в соответствии с формулой:

$$E_{\%} = \left(\frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{Ш}}} \right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{e1}}} \right) \cdot 100 + E_{0,\%} \cdot e^{-\frac{t}{T_{e1}}}$$

где $I_{\text{Ш}}$ - уставка эквивалентного штатного тока, А;

T_{e1} - постоянная времени нагрева двигателя, с;

t - рассматриваемый момент времени, с;

$E_{0,\%}$ - перегрев двигателя в начале процесса нагрева, %.

Относительный перегрев отключенного двигателя при остывании рассчитывается по формуле:

$$E_{\%} = E_{0,\%} \cdot e^{-\frac{t}{T_{e2}}}$$

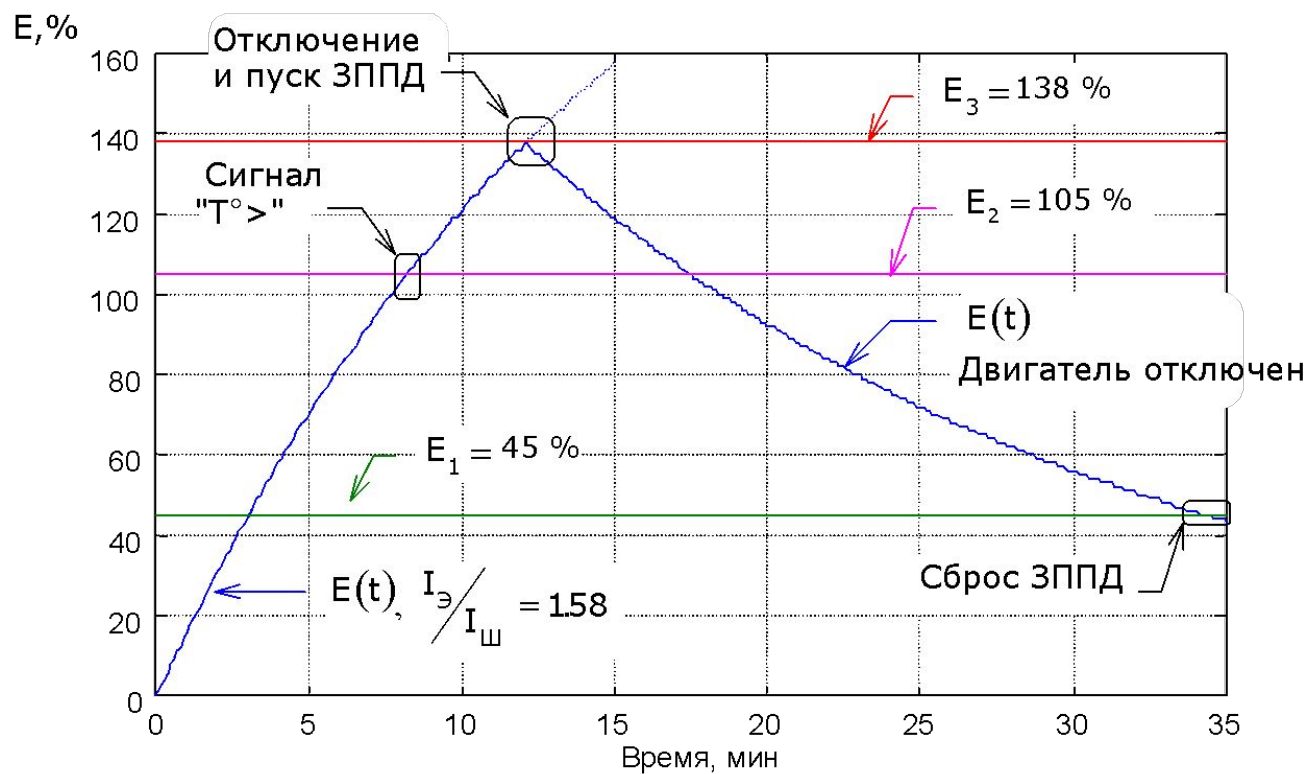
где T_{e2} - постоянная времени охлаждения двигателя, с;

t - рассматриваемый момент времени, с;

$E_{0,\%}$ - перегрев двигателя в начале процесса охлаждения, %.

Исполнение функции тепловой модели двигателя

Пример работы функции:



Исполнение функции дифференциальной токовой отсечки (ДТО)

ДТО предназначена для быстрого селективного отключения защищаемого объекта при тяжелых повреждениях.

Пример реализации для защиты асинхронного двигателя:
Дифференциальный ток вычисляется по формуле:

$$i_{д} (t) = i_{в} (t) - i_{н} (t) \cdot K_{х}$$

где $i_{д}$ - дифференциальный ток;

t - время;

$i_{в}$ - ток плеча со стороны питания;

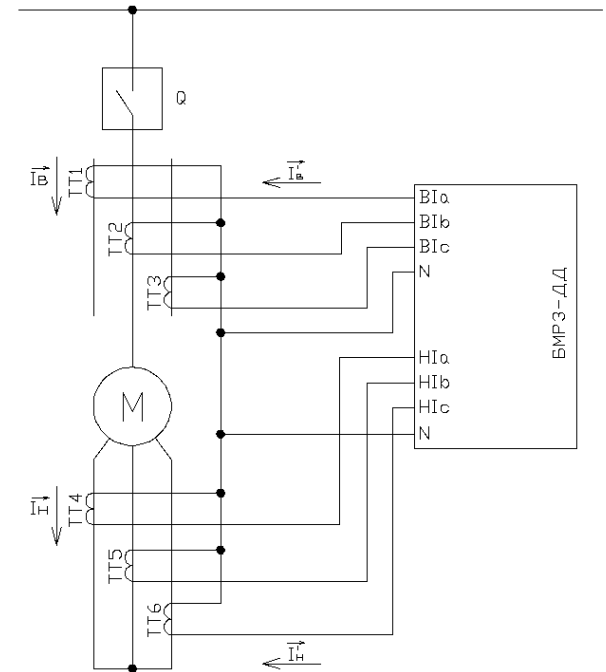
$i_{н}$ - ток плеча со стороны общей точки (нейтрали);

$K_{х}$ - коэффициент выравнивания токовых групп, по умолчанию равный 1,0.

Срабатывание ДТО происходит по условию:

$$|i_{д} (t)| \geq I_{дто},$$

где $I_{дто}$ - уставка ДТО.



Исполнение функции дифференциально-фазной защиты с торможением (ДЗТ)

ДЗТ срабатывает по действующему значению оценки первой гармонической составляющей дифференциального тока.

Дифференциальный ток вычисляется по формуле:

$$I_D = \left| \overline{I_B} - \overline{I_H} \right|$$

где I_D - дифференциальный ток;

I_B - оценка первой гармонической составляющей тока плеча со стороны питания в виде комплексного числа;

I_H - оценка первой гармонической составляющей тока со стороны общей точки (нейтрали) в виде комплексного числа.

Исполнение функции дифференциально-фазной защиты с торможением (ДЗТ)

Функция торможения предназначена для отстройки от переходных режимов работы защищаемого двигателя путем автоматического «заглубления» уставки ДЗТ при увеличении токов плеч. В качестве тормозной величины используется сквозной ток – I_C (геометрическая полусумма токов I_B и I_N).

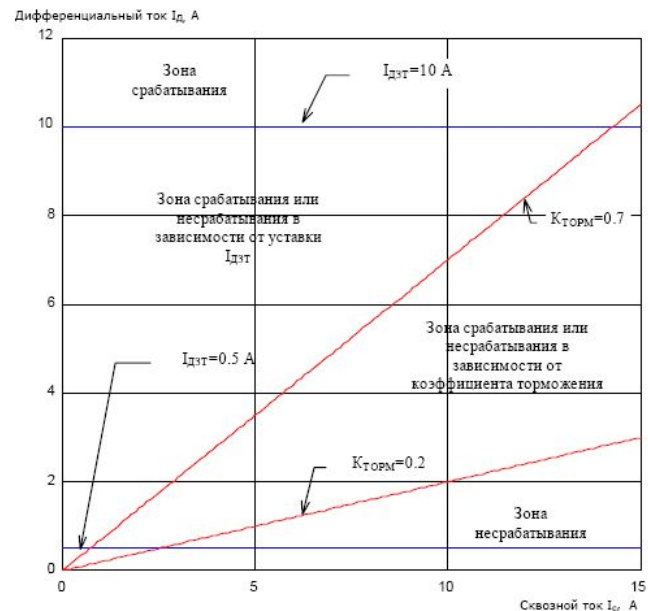
ДЗТ срабатывает при одновременном выполнении условий:

$$I_D \geq I_{ДЗТ}$$

$$I_D \geq I_C \cdot K_{ТОРМ}$$

, где $I_{ДЗТ}$ - уставка тока срабатывания;
 $K_{ТОРМ}$ - коэффициент торможения.

Характеристика срабатывания защиты приведена на рисунке.



Исполнение функции диф. защиты нулевой последовательности с торможением (ДЗТНП, REF-дифференциал)

ДЗТНП является защитой от однофазных замыканий на землю в сетях с заземлённой нейтралью, а также от витковых замыканий. Защита не предназначена для работы в сетях с компенсированной и с изолированной нейтралью. ДЗТНП обладает абсолютной селективностью и не имеет выдержки времени.

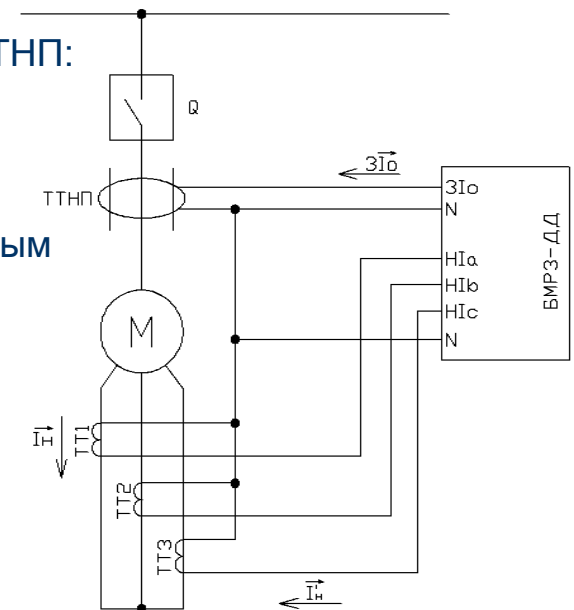
Пример схемы токовых цепей асинхронного двигателя для ДЗТНП:

ДЗТНП срабатывает по действующему значению первой гармонической составляющей дифференциального тока.

Дифференциальный ток вычисляется как разность между измеряемым током нулевой последовательности и рассчитанным из фазных токов током нулевой последовательности со стороны нейтрали по формуле:

$$I_{\text{Д}} = \left| K_0 \cdot 3I_{0 \text{ расч. нейтр.}} - 3I_0 \right|,$$

где K_0 - коэффициент выравнивания токовых плеч ДЗТНП.



Исполнение функции диф. защиты нулевой последовательности с торможением (ДЗТНП, REF-дифференциал)

Для отстройки от переходных режимов работы двигателя и внешних замыканий на землю ДЗТНП имеет механизм торможения.

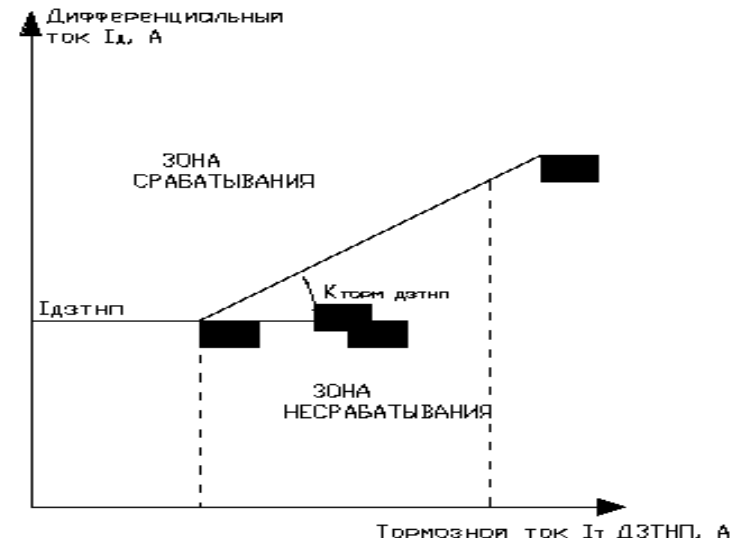
Торможение предназначено для автоматического "загрубления" уставки ДЗТНП при увеличении токов плеч в переходных режимах работы защищаемого двигателя. В качестве величины торможения используется ток торможения I_T (ток нулевой последовательности, вычисляемый по значениям фазных токов со стороны нейтрали).

Защита срабатывает при одновременном выполнении условий:

$$I_D \geq I_{ДЗТНП},$$
$$I_D \geq I_T \cdot K_{ТОРМ},$$

где $I_{ДЗТНП}$ - уставка по дифференциальному току;
 $K_{ТОРМ}$ - коэффициент торможения.

Характеристика срабатывания защиты приведена на рисунке:



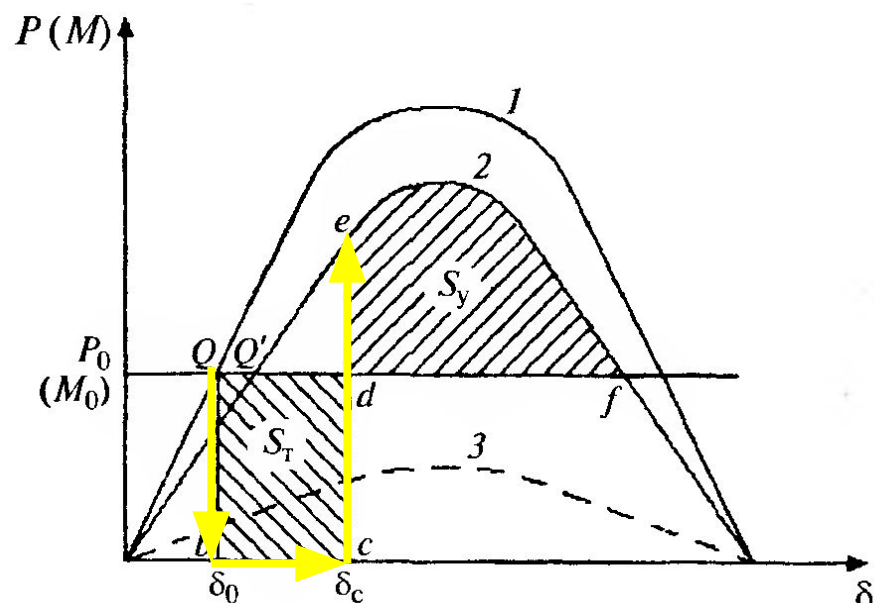
Исполнение функции опережающего отключения (ФОО)

ФОО выявляет аварийное возмущение во внешней сети по изменению режимных параметров ДС и выдает команду на его отключение в начальной фазе аварийного процесса, если сформировались условия перехода ДС в асинхронный режим. ФОО реализует грубую, точную и резервную ступени защиты.

Грубая ступень работает по факту достижения приращением абсолютного угла ротора ДС уставки, определяемой автоматически по значению нагрузки ДС в доаварийном режиме.

Точная ступень работает путем сравнения соотношения между избыточной и предельно допустимой энергиями движения ротора ДС с заданной уставкой срабатывания защиты (коэффициент динамической устойчивости).

Резервная ступень формирует команду на отключение ДС по факту начала асинхронного проворота путем анализа изменений тока, напряжения и активной мощности ДС.



Исполнение функции опережающего отключения (ФОО). Грубая ступень.

Уставка грубой ступени определяется автоматически по формуле:

$$\Delta\delta_{cp} = 2,8 - 1,1 \frac{P_{\partial a}}{P_H},$$

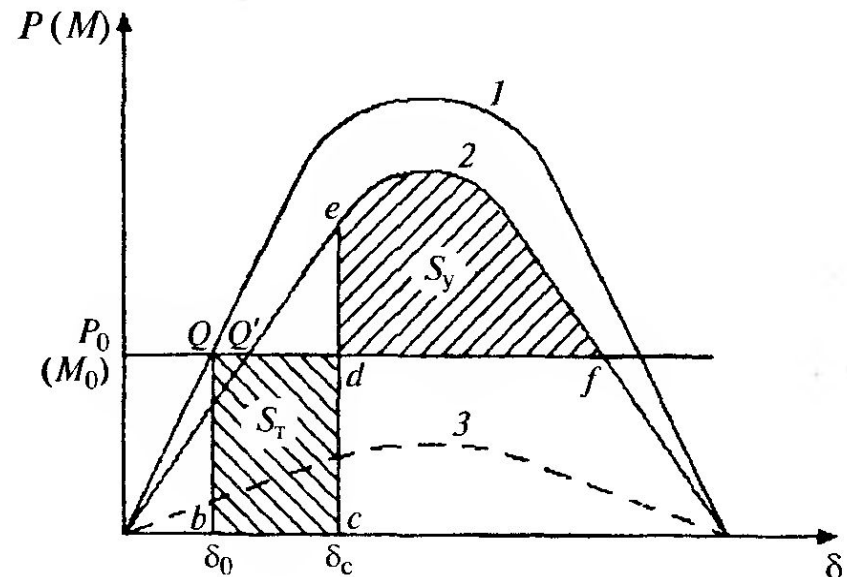
где $\Delta\delta_{cp}$ — уставка, при которой срабатывает грубая ступень ФОО, радиан;

$P_{\partial a}$ — мощность ДС в доаварийном режиме, Вт;

P_H — номинальная мощность двигателя, Вт.

Срабатывание ступени происходит по факту достижения приращением абсолютного угла ротора рассчитанной уставки:

$$\Delta\delta_{abc} \geq \Delta\delta_{cp}$$



Исполнение функции опережающего отключения (ФОО). Точная ступень.

Точная ступень срабатывает по условию:

$$\frac{W_{\text{доп}} - W_{\text{изб}}}{W_{\text{доп}}} \leq k_{\text{д}}$$

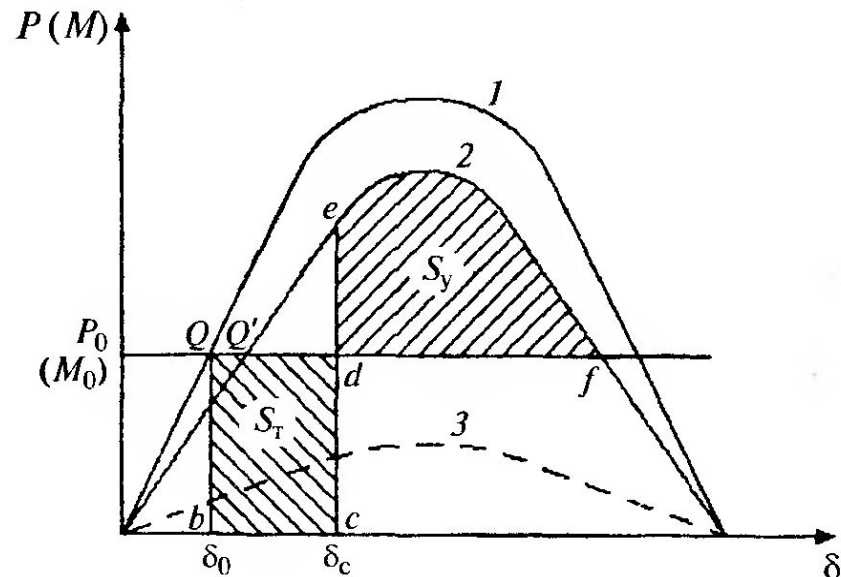
где $W_{\text{изб}}$ – избыточная энергия движения ротора;

$W_{\text{доп}}$ – допустимая энергия движения ротора;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент динамической устойчивости (уставка срабатывания защиты).

В случаях, когда установленная мощность генераторов питающей энергосистемы существенно превышает установленную мощность ДС, можно принимать $k_{\text{д}} = 0,22$.

В случаях соизмеримой мощности генераторов энергосистемы и ДС требуется проведение специальных расчетов динамики.



Исполнение функции опережающего отключения (ФОО). Резервная ступень.

Резервная ступень ФОО срабатывает при несрабатывании грубой и точной ступени, если в течение трех периодов сети одновременно выполняются следующие условия:

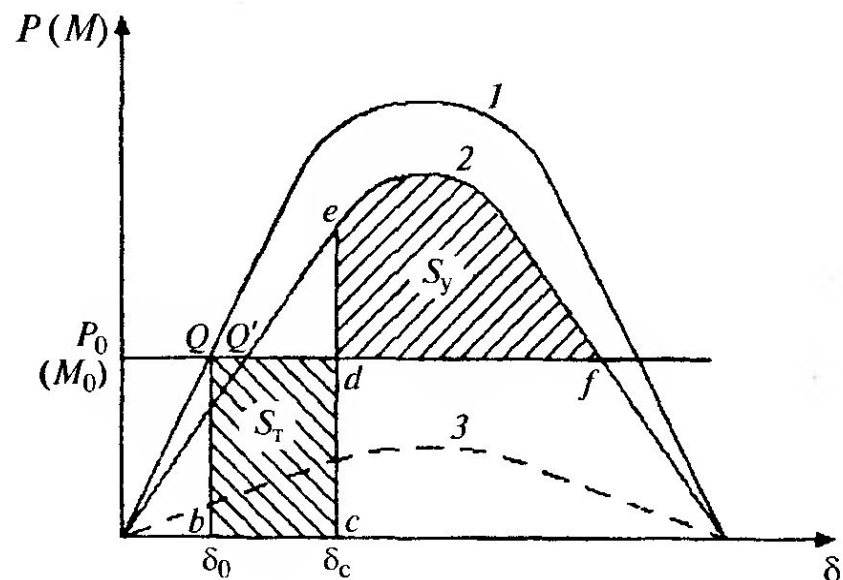
- $P < P_{да}$,
- $U1 < 0,8 U_n$,
- $I1 > 1,5 I_n$,

где $P_{да}$ – доаварийное значение мощности;

U_n – номинальное напряжение двигателя;

I_n – номинальный ток двигателя;

P , $U1$, $I1$ – текущие значения мощности, напряжения прямой последовательности и тока прямой последовательности СД.



Расчет уставок функции опережающего отключения (ФОО)

В качестве уставок ФОО задаются:

Номинальная вторичная активная мощность ДС, P_H (Вт), которая вычисляется по формуле:

$$P_H = \frac{1000 \cdot P'_H}{n_T \cdot n_H},$$

Постоянная инерции ДС совместно с приводным механизмом (ТИ), с:

$$T_{и} = \frac{2,74 \cdot (GD_{д}^2 \cdot n_{д}^2 + GD_{м}^2 \cdot n_{м}^2)}{10^3 \cdot P'}$$

где $GD_{д}$, $GD_{м}$ - маховые моменты ДС и приводного механизма, соответственно, т•м;

$n_{д}$, $n_{м}$ - номинальные скорости вращения ДС и приводного механизма, об/мин;

P - активная мощность, потребляемая ДС, кВт.

Если скорости вращения ДС и приводного механизма одинаковы или маховой момент приводного механизма приведен к скорости вращения ДС, то для вычисления постоянной инерции можно использовать суммарное значение махового момента

$GD_{\Sigma}^2 = GD_{д}^2 + GD_{м}^2$ и, следовательно:

$$T_{и} = \frac{2,74 \cdot GD_{\Sigma}^2 \cdot n_{\Sigma}^2}{10^3 \cdot P'}$$

где n_{Σ} - приведенная скорость вращения приводного механизма, об/мин.

Расчет уставок функции опережающего отключения (ФОО)

Эквивалентное сопротивление активных потерь в ДС во время короткого замыкания уставка R_{Σ} вычисляется по формулам:

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma} \cdot \frac{n_T}{n_H} \quad R_{\Sigma} = R_{\Sigma, \text{дв}} + R_{\text{вн}},$$

где n_T , n_H - коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения;

$R_{\Sigma, \text{дв}}$ - приведенное к напряжению статора эквивалентное сопротивление активных потерь в ДС, Ом;

$R_{\text{вн}}$ - активное сопротивление внешней сети от зажимов ДС до точки подключения измерительных трансформаторов напряжения, Ом.

$R_{\Sigma, \text{дв}}$ рассчитывается по паспортным характеристикам ДС. Значения $R_{\Sigma, \text{дв}}$ для некоторых ДС приведены в руководстве по эксплуатации.

Значение уставки k_d определяется по результатам специальных расчетов динамики ДС с учетом схем их питания.

В случаях, когда установленная мощность генераторов питающей энергосистемы существенно превышает установленную мощность ДС, можно принимать $k_d = 0,22$.

Исполнение защиты от колебаний нагрузки (ЗКН)

Принцип действия основан на выявлении колебаний активной мощности ДС с периодом от 2 до 8 с и амплитудой, превышающей значение $A_{\text{кол}}$ - минимальной амплитуды колебаний активной мощности ДС, задаваемое в качестве уставки.

ЗКН имеет три ступени. Пуск ступеней ЗКН производится при фиксации первого колебания активной мощности с амплитудой, превышающей $A_{\text{кол}}$. Возврат ступени защиты в исходное состояние производится в том случае, если очередное колебание активной мощности, превышающее заданную уставку, не зафиксировано в течение 10 с.

В качестве уставки ЗКН задается относительное значение амплитуды колебаний $A_{\text{кол}}$, при которой фиксируются колебания нагрузки, вычисляемое по формуле:

$$A_{\text{кол}} = \frac{\Delta P_{\text{мин}}}{P_{\text{н}}},$$

где $\Delta P_{\text{мин}}$ - минимальная амплитуда колебаний мощности ДС в соответствии с рисунком, при которой происходит пуск ЗКН, МВт.

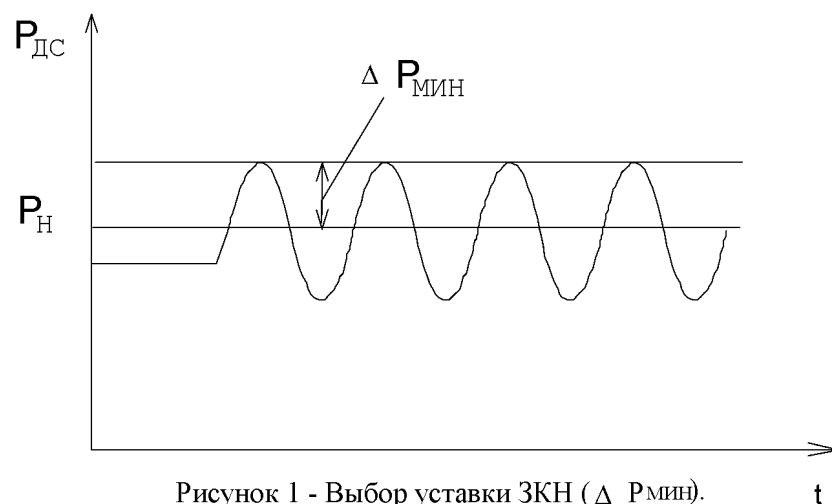
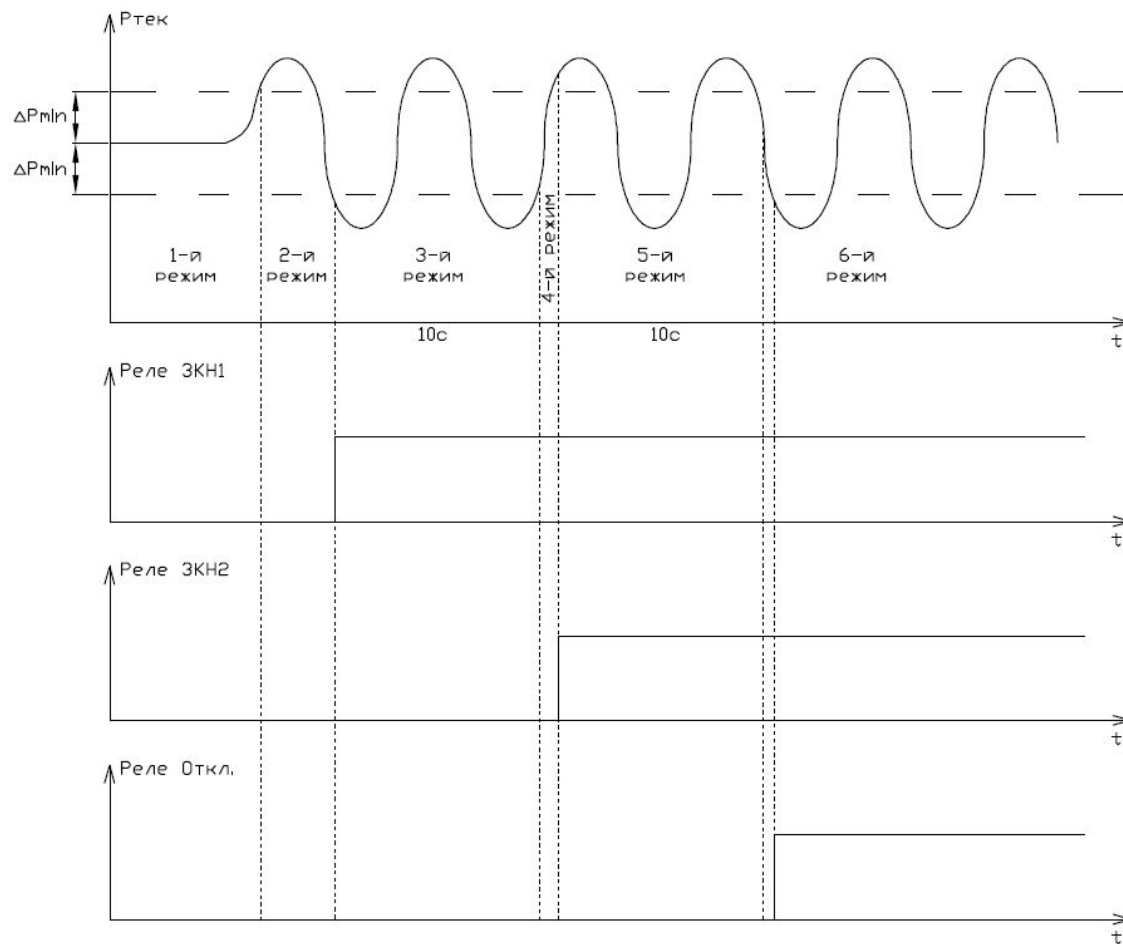


Рисунок 1 - Выбор уставки ЗКН ($\Delta P_{\text{мин}}$).

Исполнение защиты от колебаний нагрузки (ЗКН)



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

ООО «НТЦ «Механотроника»
www.mtrele.ru

Инженер бюро системотехники,
Михалев Сергей Владимирович