

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТАВОК
ДЛЯ ТЕРМИНАЛОВ РЗА СЕРИИ «МИР»**

АПДЛ.650309 МРУ ред. 1

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	5
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	6
Условные сокращения	6
СХЕМА СЕТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ	7
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТ ГЕНЕРАТОРА.....	9
Методика расчета дифференциальной защиты машин (ДЗМ)	9
Методика расчета токовой отсечки (ТО) и максимальной токовой защиты (МТЗ) генератора....	15
Методика расчета защиты от однофазных замыканий на землю (ЗОЗЗ) генератора	18
Методика расчета направленной защиты по активной мощности (ЗАМ).....	22
Методика расчета направленной защиты по реактивной мощности (ЗРМ).....	26
Методика расчета защиты от потери возбуждения (ЗПВ)	28
Пример расчета параметров срабатывания защит генератора.....	30
Расчет параметров срабатывания ДЗМ.....	30
Расчет параметров срабатывания МТЗ	32
Расчет параметров срабатывания ЗОЗЗ генератора	34
Расчет параметров срабатывания ЗАМ и ЗРМ	36
Расчет параметров срабатывания ЗПВ	37
Карты уставок.....	38
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА 35/6(10) КВ	42
Методика расчета дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ)	42
Методика расчета токовых защит трансформатора от междуфазных КЗ.....	49
Пример расчета параметров срабатывания защит трансформатора	54
Расчет параметров срабатывания ДЗТ	54
Расчет параметров срабатывания токовых защит трансформатора от междуфазных КЗ	57
Оценка чувствительности МТЗ с пуском по напряжению	61
Карты уставок.....	62
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ.....	65
Методика расчета токовых защит от междуфазных КЗ	65
Пример расчета параметров срабатывания токовых защит от междуфазных КЗ	70
Расчет параметров срабатывания токовой защиты электродвигателей.....	70
Расчет параметров срабатывания токовой защиты трансформатора	72
Расчет параметров срабатывания токовой защиты трансформатора с обратозависимой МТЗ	75
Расчет параметров срабатывания токовой защиты секционного выключателя (СВ1).....	79
Расчет параметров срабатывания токовой защиты вводного выключателя (ВВ).....	81
Расчет параметров срабатывания токовой защиты секционного выключателя (СВ2).....	84
Карты уставок.....	85
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА НАПРАВЛЕННЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ	89
Методика расчета направленной токовой защиты ЛЭП от междуфазных КЗ	89

Пример расчета параметров токовой направленной защиты от междуфазных КЗ	93
Расчет параметров срабатывания токовой направленной защиты ЛЭП.....	93
Карты уставок.....	96
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ.....	97
Методика расчета защит от однофазных замыканий на землю	97
Пример расчета параметров срабатывания защит от ОЗЗ.....	105
Расчет параметров срабатывания токовой защиты от ОЗЗ электродвигателя	105
Расчет параметров срабатывания токовой защиты от ОЗЗ трансформатора	106
Расчет параметров срабатывания неселективной защиты от ОЗЗ по $3U_0$	107
Карты уставок.....	108
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАТЯНУТОГО ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ.....	110
Методика расчета защиты от затянутого пуска двигателя (ЗЗПД)	110
Пример расчета параметров срабатывания защиты от затянутого пуска.....	111
Расчет параметров срабатывания ЗЗПД.....	111
Карты уставок.....	112
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ	113
Методика расчета защиты минимального напряжения (ЗМН).....	113
Пример расчета параметров срабатывания защиты минимального напряжения	116
Расчет параметров срабатывания ЗМН электродвигателя	116
Карты уставок.....	117
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ.....	118
Методика расчета защиты максимальной частоты (ЗМЧ)	118
Пример расчета параметров срабатывания защиты максимальной частоты	119
Расчет параметров срабатывания ЗМЧ	119
Карты уставок.....	120
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ	121
Методика расчета защиты минимальной частоты (АЧР).....	121
Пример расчета параметров срабатывания защиты минимальной частоты.....	123
Расчет параметров срабатывания АЧР.....	123
Карты уставок.....	124
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ	125
Методика расчета защиты от повышения напряжения (ЗПН).....	125
Пример расчета параметров срабатывания защиты от повышения напряжения.....	127
Расчет параметров срабатывания ЗПН.....	127
Карты уставок.....	128
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА УСТРОЙСТВА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ.....	129
Методика расчета устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ).....	129
Пример расчета параметров срабатывания УРОВ	130

Расчет параметров срабатывания УРОВ.....	130
Карты уставок.....	131
МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА КОНТРОЛЯ ТТ/ТН.....	132
Методика расчета контроля ТТ/ТН.....	132
Пример расчета параметров срабатывания контроля ТТ/ТН.....	135
Расчет параметров срабатывания контроля ТТ/ТН.....	135
Карты уставок.....	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	139
ПРИЛОЖЕНИЯ	140
Приложение 1 – Модель для расчета токов КЗ	140
Приложение 2 – Лист регистрации изменений	141
СТРАНИЦА ДЛЯ ЗАМЕТОК	142
КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....	143

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания посвящены расчету параметров срабатывания МПУ серии «МИР». В данных методических указаниях приведены методики и примеры расчета параметров срабатывания для релейной защиты следующих типов объектов:

- **генераторов (Г):**
 - ДЗМ (87М);
 - ТО (50/51);
 - МТЗ (50/51);
 - ЗОЗЗ (50N/51N, 67N);
 - ЗАМ (32Р);
 - ЗРМ (32Q);
 - ЗПВ (40);
- **трансформаторов 35/10(6) кВ:**
 - ДЗТ (87Т);
 - ТО (50/51);
 - МТЗ (50/51).
- **электродвигателей (ЭД):**
 - ТО (50/51);
 - МТЗ (50/51);
 - ЗП (50/51);
 - ЗОЗЗ (50N/51N, 67N);
 - ЗЗПД (48/51LR);
- **линий электропередачи с односторонним и двухсторонним питанием:**
 - токовая ступенчатая направленная защита (67);
 - токовая ступенчатая ненаправленная защита (50/51);
 - ЗОЗЗ (50N/51N, 67N).
- **прочее:**
 - ЗМН (27/27S);
 - АЧР (81L);
 - ЗМЧ (81Н);
 - ЗПВ (40);
 - УРОВ (50BF);
 - контроля ТТ/ТН (60 CTS/VTS).

Методика расчета носит рекомендательный характер.

В связи с систематически проводимыми работами по совершенствованию изделий МПУ РЗА в их конструкцию могут быть внесены изменения, улучшающие параметры и качество изделий, не учтенные в настоящем издании. Предприятие-изготовитель оставляет за собой право внесения изменений и улучшений без предварительного уведомления потребителя.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Условные сокращения

Таблица АПС. 1. Условные сокращения

АВ	Автоматический выключатель
АВР	Автоматический ввод резерва
АПВ	Автоматическое повторное включение
АР	Асинхронный режим
АЧР	Автоматическая частотная разгрузка (защита минимальной частоты)
БК НЗ/НО	Блок-контакт автомата ТН нормально закрытый/ нормально открытый
БНН	Блокировка при неисправности в цепях напряжения
БТН	Бросок тока намагничивания
ВВ	Вводной выключатель
ВГ	Высшие гармоники
ВН	Высшее напряжение
ДЗМ	Дифференциальная защита машины
ДЗТ	Дифференциальная защита трансформатора
ДТО	Дифференциальная токовая отсечка
ЗАМ	Защита по активной мощности направленная
ЗЗПД	Защита от затянутого пуска двигателя
ЗМ	Защита машины
ЗМН	Защита минимального напряжения
ЗМЧ	Защита максимальной частоты
ЗОЗЗ	Защита от однофазных замыканий на землю
ЗП	Защита от перегрузки
ЗПВ	Защита от потери возбуждения
ЗРМ	Защита по реактивной мощности направленная
ЗТ	Защита трансформатора
КЗ	Короткое замыкание
КЛ	Кабельная линия
ЛЭП	Линия электропередачи
МПУ	Микропроцессорное устройство
МРУ	Методика расчета уставок
МТЗ	Максимальная токовая защита
МТЗН	Направленная максимальная токовая защита
НН	Низшее напряжение
ОЗЗ	Однофазное замыкание на землю
ПБВ	Переключение без возбуждения
ПС	Подстанция
РЗА	Релейная защита и автоматика
РПН	Регулирование под нагрузкой
РЭ	Руководство по эксплуатации
СВ	Секционный выключатель
СШ	Секция шин
ТЗОП	Токовая защита обратной последовательности
ТН	Трансформатор напряжения
ТО	Токовая отсечка
ТОВ	Токовая отсечка с выдержкой времени
ТТ	Трансформатор тока
ТТНП	Трансформатор тока нулевой последовательности
УРОВ	Устройство резервирования отказа выключателя
ФНОП	Фильтр напряжения обратной последовательности
ХВВ	Характеристика выдержки времени
ЭД	Электродвигатель
о.е.	Относительная единица

СХЕМА СЕТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ

На рисунке приведена схема участка сети. Схема содержит следующие объекты:

- трансформаторы 35/6 кВ;
- воздушные линии 35 кВ с двухсторонним питанием;
- электродвигатель (ЭД) 6 кВ;
- трансформаторы 6/0,4 кВ;
- секционные выключатели;
- резервный генератор 6 кВ.

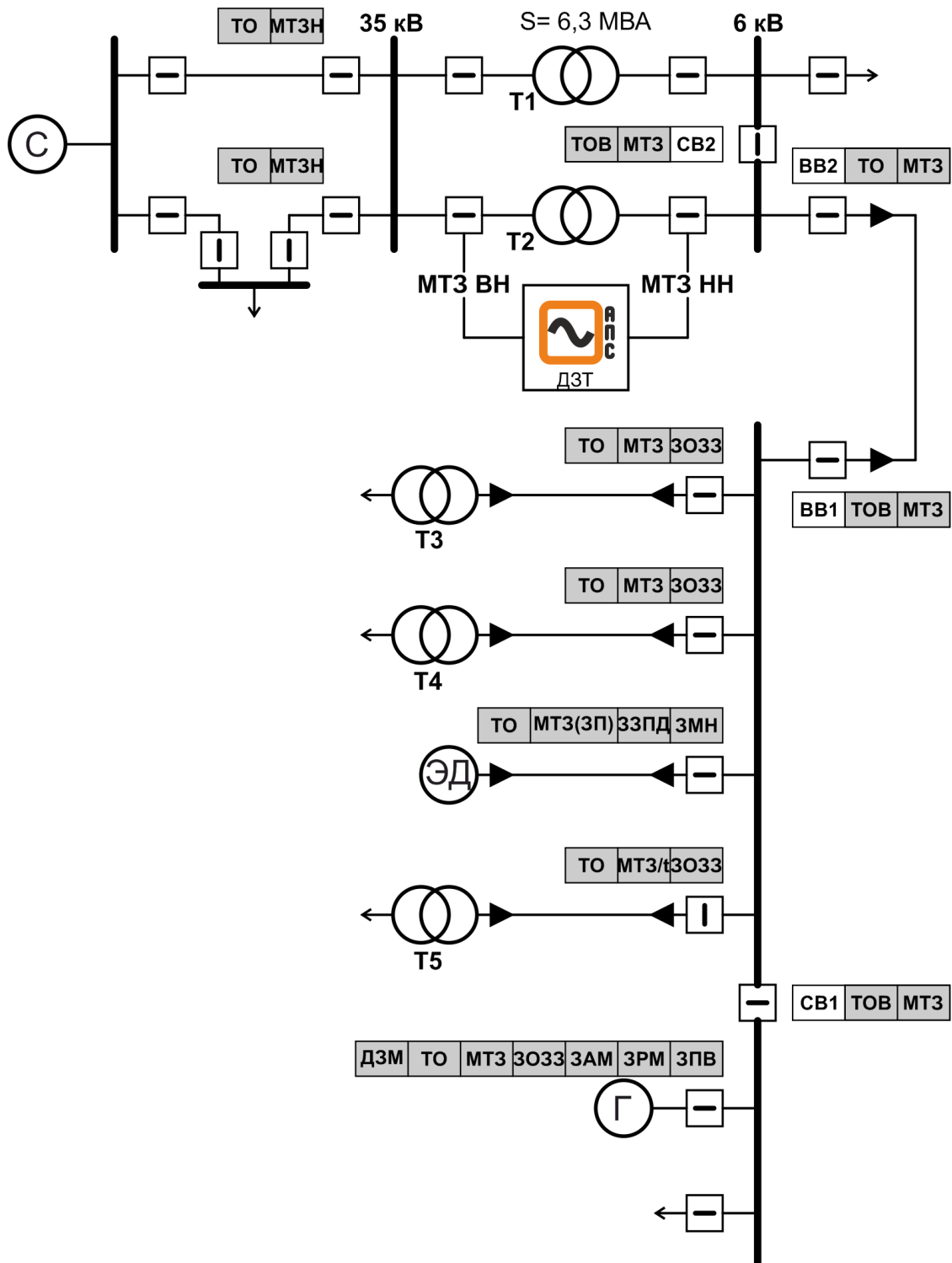


Рис. АПС. 1. Исходная схема сети

На примере выбора параметров срабатывания указанных элементов сети показано применение разработанной методики расчета.

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) проводился в программном комплексе «Лаборатория РЗА» (см. **Приложение 1**. Модель для расчета токов КЗ). В примере приведены необходимые для расчета параметров срабатывания минимальные и максимальные токи КЗ. В таблицах с исходными данными приводятся значения токов, протекающих через защиты при КЗ в заданных точках (например $I_{K1}^{(3)}$ соответствует току трехфазного КЗ в точке К1).

Учитывалось, что для данного участка сети генератор работает только как резервный источник, соответственно, нет режимов параллельной работы генератора с сетью, самосинхронизации и т.д.

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТ ГЕНЕРАТОРА

Методика расчета дифференциальной защиты машин (ДЗМ)

ДЗМ. Общие сведения

ДЗМ (87М) является основной быстродействующей защитой от многофазных замыканий в обмотке статора генератора и на выводах генератора [1, 2]. ДЗМ устанавливается на генераторах мощностью более 1000 кВт.

ДЗМ подключается к трансформаторам тока, установленным со стороны выводов и со стороны нулевой точки генератора; в зону ее действия входят обмотки, выводы статора и кабели или шины до распределительного устройства генераторного напряжения.

Дифференциальная защита работает без выдержки времени и действует на отключение генераторного выключателя, автомата гашения поля, пуск устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ), а также на вызывную сигнализацию. В зависимости от режима работы допускается действие на остановку двигателя или турбины.

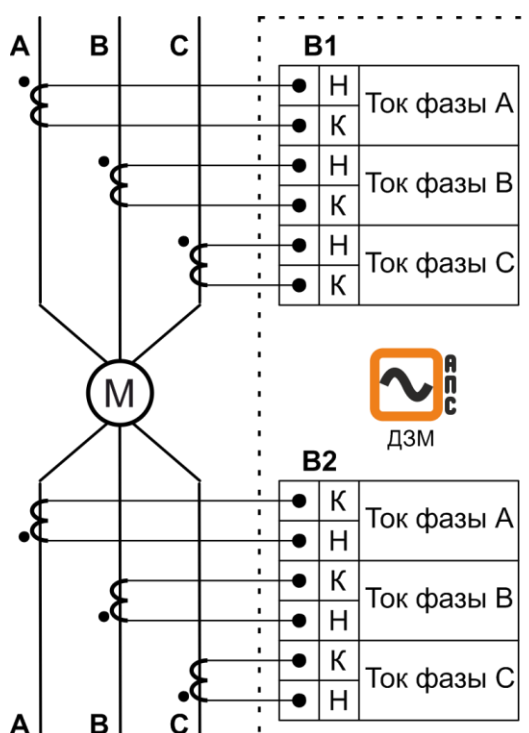


Рис. 3М. 1. Подключение ДЗМ МПУ «МИР ДЗМ» к трансформаторам тока

Принцип действия защиты основан на сравнении фазных токов с каждой стороны защищаемого объекта. Дифференциальный ток для каждой фазы рассчитывается как модуль векторной разности* токов сторон:

$$I_{\text{диф.}} = |I_{1\text{ТТ}} + I_{2\text{ТТ}}|.$$

Ток торможения рассчитывается как модуль векторной полусуммы* токов:

$$I_{\text{ТОРМ.}} = \frac{|I_{1\text{ТТ}} - I_{2\text{ТТ}}|}{2}.$$

***Примечание:** Так как ТТ подключены в направлении «к машине», то для расчета $I_{\text{диф.}}$ используется векторная сумма вторичных токов, а для $I_{\text{ТОРМ.}}$ – векторная разность, с учетом выбранного положительного направления.

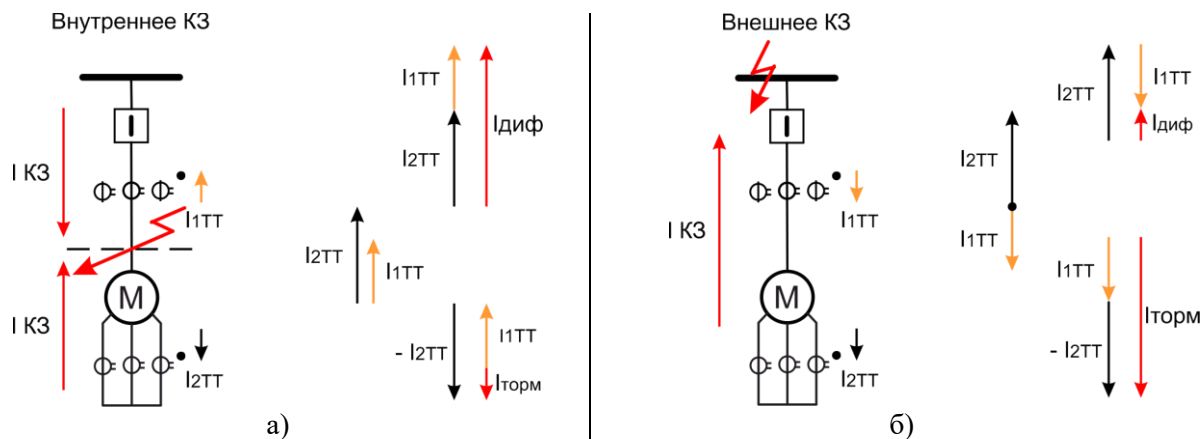


Рис. 3М. 2. Принцип действия ДЗМ: а) внутреннее КЗ; б) внешнее КЗ

Пуск ДЗМ происходит при превышении дифференциального тока заданной уставки, определяемой характеристикой срабатывания. ДЗМ имеет две характеристики срабатывания (две ступени):

- дифференциальная токовая отсечка («грубая» ступень);
- дифференциальная токовая защита с торможением («чувствительная» ступень).

Дифференциальная токовая отсечка (ДТО) предназначена для действия при больших токах КЗ без торможения.

При расчете дифференциального и тормозного токов используется значение токов в первичных величинах после корректировки с учетом группы соединения и полярности подключения ТТ. В микропроцессорном устройстве (МПУ) «МИР ДЗМ» используется **цифровое выравнивание токов**.

Цифровое выравнивание позволяет минимизировать погрешности (небалансы), возникающие из-за неравенства вторичных токов комплектов ТТ.

Уставки ДЗМ задаются в **о.е. от базисного тока**.

В МПУ «МИР ДЗМ» расчет базисного тока производится автоматически, после ввода параметров защищаемой электрической машины. За базисный ток принимается номинальный ток генератора, рассчитанный по формуле:

$$I_{\text{БАЗ.}} = \frac{P_{\text{НОМ.}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ.}}\cos\varphi},$$

где $P_{\text{НОМ.}}$ – номинальная активная мощность генератора, МВт.

$U_{\text{НОМ.}}$ – номинальное напряжение генератора, кВ;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

Погрешность цифрового выравнивания составляет не более 2% от базисного тока.

Для систем с односторонним питанием, если ток с одной стороны защищаемого объекта составляет менее 2% тока с другой стороны, тормозной ток будет равен **нулю**.

Характеристика срабатывания

Дифференциальная токовая защита с торможением действует при всех видах КЗ в генераторе даже с малыми значениями токов. Для тормозной характеристики ток срабатывания возрастает при увеличении тормозного тока. Наклон тормозной характеристики определяется, прежде всего, погрешностями комплектов ТТ, к которым подключена защита.

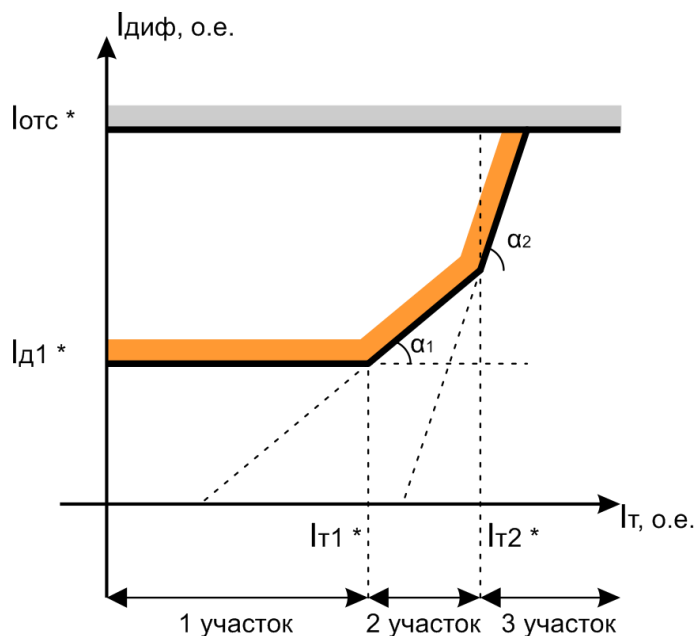


Рис. 3М. 3. Характеристика срабатывания ДЗМ

1 участок – горизонтальный, соответствует минимальным погрешностям ТТ. Он определяется начальным током срабатывания $I_{д1}^*$ и током начала торможения $I_{т1}^*$.

2 участок – наклонный, определяется углом наклона характеристики относительно оси абсцисс α_1 . Это участок малых токов КЗ, где погрешность ТТ также невелика.

3 участок также наклонный, определяется углом наклона характеристики относительно оси абсцисс α_2 . Он начинается с токов торможения $I_т = I_{т2}$. Это участок больших токов КЗ, где ТТ могут входить в насыщение и их погрешность увеличивается.

Методика выбора параметров срабатывания ДЗМ

Для ДЗМ «МИР ДЗМ» задаются следующие уставки [3]:

- Ток срабатывания ДТО $I_{отс.}^*$;
- Выдержка времени ДТО $t_{отс.}^*$;
- Начальный ток срабатывания $I_{д1}^*$;
- Выдержка времени характеристики с торможением $t_{дзм}$;
- Угол α_1 ;
- Ток начала торможения $I_{т1}^*$;
- Ток торможения 2 участка $I_{т2}^*$;
- Угол α_2 ;
- Время возврата $t_{возвр.}$

Методика расчета параметров срабатывания ДЗМ сведена в Таблицу 3М.1.

Если при вводе в эксплуатацию зафиксированы излишние срабатывания ДЗМ из-за повышенной погрешности ТТ, рекомендуется увеличить значения начального тока срабатывания $I_{д1}$ и коэффициентов торможения α_1 , α_2 . Остальные уставки допустимо не изменять.

Уточнение параметров срабатывания рекомендуется также проводить, если зафиксированы случаи ложной работы ДЗМ при внешних КЗ. Уточнение параметров срабатывания необходимо проводить по осциллограмме, записанной терминалом «МИР ДЗМ».

Таблица 3М. 1. Методика расчета параметров срабатывания ДЗМ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
$I_{отс.}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$I_{отс.}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{скв.}^* ;$ $K_{нб.расч.1} = K_{пер.} \cdot K_{одн.} \cdot \varepsilon^* ;$ $K_{нб.расч.2} = \Delta f_{выр.}^* ;$ $I_{скв.}^* = \frac{I_{кз.макс.}}{I_{баз.}} ;$ <p>Минимально возможная уставка $I_{отс.}^* = 2 \text{ о. е.}$</p>	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки ДТО. Принимается $K_{отс.} = 1,5$.</p> <p>$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс. Принимается $K_{пер.} = 3$.</p> <p>$K_{одн.}$ – коэффициент однотипности. Для однотипных трансформаторов тока и одинаковой нагрузке ТТ принимается равным 0,5, в противном случае $K_{одн.} = 1$;</p> <p>ε^* – максимальная из относительных полных погрешностей ТТ сторон в режиме установившегося КЗ, принимается 0,1 для ТТ 10Р и 0,05 для ТТ 5Р;</p> <p>$\Delta f_{выр.}^*$ – погрешность цифрового выравнивания. Принимается $\Delta f_{выр.}^* = 0,02$;</p> <p>$I_{скв.}^*$ – сквозной ток, равный приведенному максимальному току внешнего трехфазного КЗ.</p>
$I_{отс.}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при асинхронном режиме (АР)	$I_{отс.}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{скв.}^* ;$ $K_{нб.расч.1} = K_{пер.} \cdot K_{одн.} \cdot \varepsilon^* ;$ $K_{нб.расч.2} = \Delta f_{выр.}^* ;$ $I_{скв.}^* = \frac{I_{ар.}}{I_{баз.}} ;$ <p>Минимально возможная уставка $I_{отс.}^* = 2 \text{ о. е.}$</p>	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки ДТО. Принимается $K_{отс.} = 1,5$.</p> <p>$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс. Принимается $K_{пер.} = 2$;</p> <p>$K_{одн.}$ – коэффициент однотипности. Для однотипных трансформаторов тока и одинаковой нагрузке ТТ принимается равным 0,5, в противном случае $K_{одн.} = 1$;</p> <p>ε^* – максимальная из относительных полных погрешностей ТТ сторон в режиме установившегося КЗ, принимается 0,1 для ТТ 10Р и 0,05 для ТТ 5Р;</p> <p>$\Delta f_{выр.}^*$ – погрешность цифрового выравнивания. Принимается $\Delta f_{выр.}^* = 0,02$;</p> <p>$I_{скв.}^*$ – сквозной ток, равный приведенному максимальному току АР.</p>

$t_{отс.}$	Обеспечение быстродействующего отключения КЗ	$t_{отс.} = 0 \div 100$ мс	Принимается из условий эксплуатации.
$I_{д1}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при токе начала торможения	$I_{д1}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{т1}^* ;$ $I_{нб.расч.1}^* = K_{пер.} \cdot K_{одн.} \cdot \varepsilon^* ;$ $I_{нб.расч.2}^* = \Delta f_{выр.}^* ;$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 1,2 \div 1,5$;</p> <p>$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс. Принимается $K_{пер.}=1$;</p> <p>$K_{одн.}$ – коэффициент однотипности. Для однотипных трансформаторов тока и одинаковой нагрузке ТТ принимается равным 0,5, в противном случае $K_{одн.}=1$;</p> <p>ε^* – максимальная из относительных полных погрешностей ТТ сторон в режиме установившегося КЗ, принимается 0,1 для ТТ 10Р и 0,05 для ТТ 5Р;</p> <p>$\Delta f_{выр.}^*$ – погрешность цифрового выравнивания. Принимается $\Delta f_{выр.}^* = 0,02$.</p>
$I_{т1}^*$	Обеспечение торможения при внешних КЗ или АР	$I_{т1}^* = 0,5$	–
α_1	Отстройка от максимального тока небаланса при внеш- них КЗ или АР	$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{K_{отс.} \cdot I_{диф.}^* - I_{д1}^*}{I_{торм.}^* - I_{т1}^*} \right) ;$ $I_{диф.}^* = I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{скв.}^* ;$ $K_{нб.расч.1} = K_{пер.} \cdot K_{одн.} \cdot \varepsilon^* ;$ $K_{нб.расч.2} = \Delta f_{выр.}^* ;$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 1,1$;</p> <p>$I_{диф.}^*$ – дифференциальный ток;</p> <p>$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс. Принимается:</p> <p>$K_{пер.} = (2 \div 2,5)$ – при использовании на разных сторонах защищаемого генератора однотипных ТТ;</p> <p>$K_{пер.} = (2,5 \div 3)$ – при использовании на разных сторонах защищаемого генератора разнотипных ТТ;</p> <p>При этом меньшие значения $K_{пер.}$ принимаются при одинаковой схеме соединения ТТ защиты на разных сторонах (например, в звезду), а большее значение – при разных схемах соединения ТТ защиты (на одной из сторон в звезду, на других – в треугольник);</p>

α_1	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ или АР	$I_{\text{ТОРМ.}}^* = I_{\text{СКВ.}}^* - \frac{I_{\text{НБ.РАСЧ.}}^*}{2};$ $I_{\text{СКВ.}}^* = \frac{I_{\text{КЗ.МАКС.}}}{I_{\text{БАЗ.}}}$ $I_{\text{СКВ.}}^* = \frac{I_{\text{АР.}}}{I_{\text{БАЗ.}}}$	<p>К_{одн.} – коэффициент однотипности. Для однотипных трансформаторов тока и одинаковой нагрузке ТТ принимается равным 0,5, в противном случае К_{одн}=1;</p> <p>ε* – максимальная из относительных полных погрешностей ТТ сторон в режиме установившегося КЗ, принимается 0,1 для ТТ 10Р и 0,05 для ТТ 5Р;</p> <p>Δf_{выр.}* – погрешность цифрового выравнивания. Принимается Δf_{выр.}*=0,02;</p> <p>I_{нб.расч.}* – максимальный ток небаланса, соответствующий режиму внешнего КЗ или АР;</p> <p>I_{скв.}* – сквозной ток, равный приведенному максимальному току внешнего трехфазного КЗ или АР;</p> <p>I_{торм.}* – тормозной ток в режиме внешнего КЗ или АР, с учетом тока небаланса.</p>
I_{T2}^*	Обеспечение торможения при токах, соответствующих большим погрешностям ТТ	Рекомендуемое значение $I_{T2}^* = 1,5$	–
α_2	Несрабатывание при внешних КЗ в режиме насыщения ТТ	Рекомендуемое значение $60 \div 90^\circ$	–
	Обеспечение излома характеристики	$\alpha_2 \geq \alpha_1 + 10^\circ$	–
$t_{\text{ДЗМ}}$	Обеспечение быстрого действующего отключения КЗ	$t_{\text{ДЗМ}} \geq t_{\text{отс.}}$	–
		$t_{\text{ДЗМ}} = 0 \div 100 \text{ мс}$	Принимается из условий эксплуатации
$t_{\text{возвр.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	–

Методика расчета токовой отсечки (ТО) и максимальной токовой защиты (МТЗ) генератора

МТЗ. Общие сведения

Максимальная токовая защита генератора (50/51) выполняется, как правило, двухступенчатой, с независимыми ХВВ (характеристикой выдержки времени). При этом защита обеспечивает резервирование основной продольной дифференциальной защиты при многофазных КЗ в обмотке статора, а также в случае отказа защиты или выключателей отходящих присоединений.

Первая ступень – токовая отсечка – предназначена для быстрого отключения КЗ в обмотке статора генератора.

Вторая ступень – МТЗ – обеспечивает дальнейшее резервирование при внешних КЗ. Выполнение защиты зависит от мощности защищаемого генератора:

- до 1 МВт применяют МТЗ;
- от 1 до 30 МВт применяют МТЗ с комбинированным пуском по напряжению;
- для защиты генераторов мощностью более 30 МВт от внешних симметричных КЗ должна быть предусмотрена максимальная токовая защита с минимальным пуском напряжения. Для защиты генераторов мощностью более 30 МВт от токов, обусловленных внешними несимметричными КЗ, а также от перегрузки током обратной последовательности следует предусматривать токовую защиту обратной последовательности (защита 46).

Методика выбора параметров срабатывания МТЗ

В MIRAPS задаются следующие уставки МТЗ, для каждой ступени:

- Коэффициент возврата $K_{\text{возвр.}}$;
- Уставка по I_{H2} ;
- Тип ХВВ;
- Уставка по току I ;
- Выдержка времени t .

Таблица 3М. 2. Методика расчета параметров срабатывания МТЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
$K_{\text{возвр.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{возвр.}} = 0,935$	–
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате броска тока намагничивания (БТН)	–	Для генератора, блокировка не вводится
$I_{\text{ТО}}$	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{КЗ макс.}}^{(3)}$	$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,2 \div 1,3$; $I_{\text{КЗ макс.}}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ в конце защищаемого участка.
	Отстройка от максимального тока качаний	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{АР}}$	$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,3$; $I_{\text{АР}}$ – максимальный ток при АР.
$t_{\text{ТО}}$	Обеспечение быстрого действующего отключения внутренних КЗ	Рекомендуемое значение 0	–
$I_{\text{МТЗ}}$	Отстройка от номинального тока статора генератора	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{Г.НОМ.}}}{K_{\text{возвр.}}}$	$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,1$; $I_{\text{Г.НОМ.}}$ – номинальный ток генератора; $K_{\text{возвр.}}$ – коэффициент возврата.
$t_{\text{МТЗ}}$	Отстройка от МТЗ смежных элементов	$t_{\text{МТЗ}} \geq t_{\text{сз. см. макс.}} + \Delta t$	$t_{\text{сз. см. макс.}}$ – максимальное время срабатывания МТЗ смежных (предыдущих) элементов; Δt – ступень селективности. Принимается $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами; $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами; $\Delta t = 0,15 - 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с)

Для МТЗ с пуском по напряжению также выбираются уставки минимального реле напряжения (27/27S) и/или реле напряжения обратной последовательности (47).

Таблица 3М. 3. Методика расчета параметров срабатывания реле минимального напряжения и/или реле напряжения обратной последовательности

$U_{с.з.}$	Отстройка от снижения напряжения при АР(асинхронном режиме ,если он допустим какое-то время) или при внешних КЗ	$U_{с.з.} \leq (50 \div 60\%) \cdot U_{ном.}$	$U_{ном.}$ – номинальное междуфазное напряжение генератора, кВ. <i>Уставки задаются в процентах от $U_{ном.тн.}$</i>
	Отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ (автоматическое повторное включение) или АВР (автоматический ввод резерва) заторможенных двигателей нагрузки	$U_{с.з.} \leq (6 \div 70\%) \cdot U_{ном.}$	
$U_{2с.з.}$	Отстройка от напряжения небаланса фильтра напряжений обратной последовательности в нагрузочном режиме	$U_{2с.з.} \geq (7 \div 10\%) \cdot U_{ном.}$	

Методика расчета защиты от однофазных замыканий на землю (ЗОЗЗ) генератора

Общие сведения о ЗОЗЗ приведены в разделе «Методика расчета ЗОЗЗ»

Методика выбора параметров срабатывания ЗОЗЗ

Таблица 3М. 4. Методика расчета параметров срабатывания ненаправленной ЗОЗЗ генератора (по гармонике 50 Гц)

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	Не вводится для ЗОЗЗ
$I_{\text{ЗОЗЗ}}$	Отстройка от собственного емкостного тока нулевой последовательности защищаемого присоединения	$I_{\text{ЗОЗЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{БР.}} \cdot I_{\text{С.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,2 \div 1,3$; $K_{\text{БР.}}$ – коэффициент броска, учитывающий увеличение действующего значения емкостного тока $I_{\text{С}}$ при дуговых перемежающихся ОЗЗ. Принимается $K_{\text{БР.}} = 2$; $I_{\text{С.}}$ – собственный емкостный ток защищаемого присоединения.
	Отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{\text{ЗОЗЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{НБ.МАКС.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,5 \div 2$; $I_{\text{НБ.МАКС.}}$ – максимальный ток небаланса в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ. Определяется по данным пусконаладочных работ, с учетом измеренного тока небаланса в режиме с номинальным рабочим током. При отсутствии данных условие не учитывается.
	Предотвращение повреждения обмоток статора	$I_{\text{ЗОЗЗ}} \leq 5 \text{ А}$	–

I_{3033}	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{3033} \geq I_{3033 \text{ мин.}}$	$I_{3033 \text{ мин.}}$ – минимальный первичный ток срабатывания защиты. При подключении МПУ «МИР» к кабельному трансформатору тока нулевой последовательности (ТТНП) рекомендованное значение минимального тока срабатывания во вторичных величинах принимается $I_{3033 \text{ мин.}} = 50 \text{ мА}$.
t_{3033}	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение 1 с	–

Таблица 3М. 5. Методика расчета параметров срабатывания ненаправленной 3ОЗ3 генератора на высших гармониках

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип сигнала	Обеспечение алгоритма работы	3Ю ВГ	Для защит с использованием высших гармоник (ВГ) тока
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
$K_{\text{возвр.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{возвр.}} = 0,935$	–
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	Не вводится для 3ОЗ3
$I_{3033 \text{ ВГ}}$	Отстройка от тока небаланса нормального режима	$I_{3033 \text{ ВГ}} = 0,07 \cdot I_{3033}$	I_{3033} – уставка 3ОЗ3 по основной гармонике, рассчитывается по табл. выше (Таблица 3М. 4).
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{3033 \text{ ВГ}} \geq I_{3033 \text{ мин. ВГ}}$	$I_{3033 \text{ мин. ВГ}}$ – минимальный первичный ток срабатывания защиты. При подключении МПУ «МИР» к кабельному ТТНП рекомендованное значение минимального тока срабатывания во вторичных величинах принимается $I_{3033 \text{ мин ВГ}} = 50 \text{ мА}$.
	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение $t_{3033 \text{ ВГ}} = 1 \div 2 \text{ с}$	–

Таблица 3М. 6. Методика расчета уставок направленной 3ОЗ3 генератора

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип характер. реле направ. мощности	Согласно проекту	–	<p>Тип 1: для сетей с резистивной, изолированной или компенсированной нейтралью.</p> <p>Тип 3: для сетей, в которых возможно изменения режима работы нейтрали.</p>
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
I _{3ОЗ3}	Отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{3ОЗ3} \geq K_{отс.} \cdot I_{нб.макс.}$	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки.</p> <p>Принимается $K_{отс.} = 1,5 \div 2$;</p> <p>I_{нб.макс.} – максимальный ток небаланса в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ. Определяется по данным пусконаладочных работ, с учетом измеренного тока небаланса в режиме с номинальным рабочим током.</p>
	Предотвращение повреждения обмоток статора	$I_{3ОЗ3} \leq 5 \text{ А}$	–
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{3ОЗ3} \geq I_{3ОЗ3 \text{ мин.}}$	<p>I_{3ОЗ3 мин.} – минимальный первичный ток срабатывания защиты.</p> <p>При подключении МПУ «МИР» к кабельному ТТНП рекомендованное значение минимального тока срабатывания во вторичных величинах принимается $I_{3ОЗ3 \text{ мин.}} = 50 \text{ мА}$.</p>
U _{3ОЗ3}	Отстройка от напряжения небаланса в нормальном режиме	$U_{3ОЗ3} \geq K_{отс.} \cdot U_{нб.макс.}$	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки.</p> <p>Принимается $K_{отс.} = 1,5$;</p> <p>U_{нб.макс.} – максимальное напряжение небаланса на выводах трансформатора напряжения. Может быть принято $U_{нб.макс.} = 7 \text{ В}$.</p>
Фмч	Обеспечение чувствительности к внутренним ОЗЗ	$\Phi_{мч} = \Phi_{мч.рек.}$	<p>Фмч.рек. – рекомендуемое значение угла максимальной чувствительности. Принимается:</p> <p>для сети с изолированной нейтралью $\Phi_{мч} = -55^\circ$;</p> <p>для сети с нейтралью, заземленной через высокоомный резистор $\Phi_{мч} = -135^\circ$.</p>

t_{3033}	Отстройка от ЗОЗЗ смежных элементов	$t_{3033} \geq t_{3033 \text{ МАКС.}} + \Delta t$	$t_{3033 \text{ МАКС.}}$ – время срабатывания ЗОЗЗ смежных (предыдущих) элементов; Δt – степень вы селективности. Принимается $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами и $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами. При использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с) принимается $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с
	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{3033} \geq 0,1 \text{ с}$	–
Направ.	Обеспечение срабатывания при внутренних ОЗЗ и несрабатывания при внешних ОЗЗ	Линия	Для отходящих фидеров
$t_{\text{ВОЗВР}}$	Обеспечение заданного времени возврата реле	Рекомендуемое значение $t_{\text{ВОЗВР.}} = 0$	–

Таблица 3М. 7. Методика расчета параметров срабатывания неселективной ЗОЗЗ генератора по напряжению нулевой последовательности

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
U_{3033}	Отстройка от напряжения небаланса в нормальном режиме	$U_{3033} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot U_{\text{НБ.МАКС.}}$ Рекомендуемое значение $U_{3033} = 15\% \cdot U_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ.}}$ – номинальное напряжение ТН <i>Уставка задается в процентах от $U_{\text{НОМ ТН}}$</i>
t_{3033}	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение $t_{3033} \geq 10 \text{ с}$	–

Методика расчета направленной защиты по активной мощности (ЗАМ)

ЗАМ. Общие сведения

Защита по активной мощности направленная (ЗАМ, 32Р) применяется с целью защиты от ненормального режима работы электрической машины (генераторы потребляют активную мощность из сети; двигатели выдают активную мощность в сеть) или перегрузки.

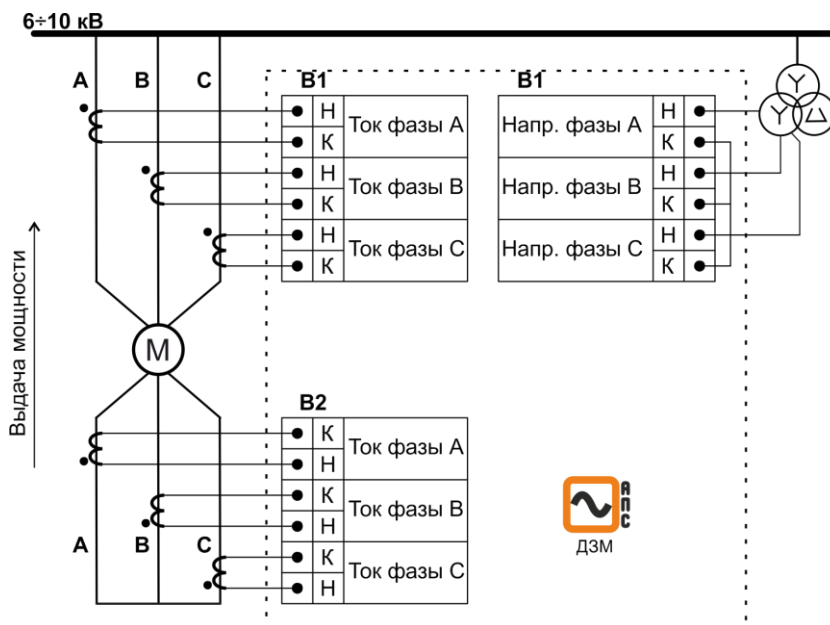


Рис. 3М. 4. Подключение ДЗМ МПУ «МИР ДЗМ» к трансформаторам тока и напряжения

Для заданного подключения МПУ «МИР» к ТТ нормальным режимом работы генератора будет направление активной мощности «к секции».

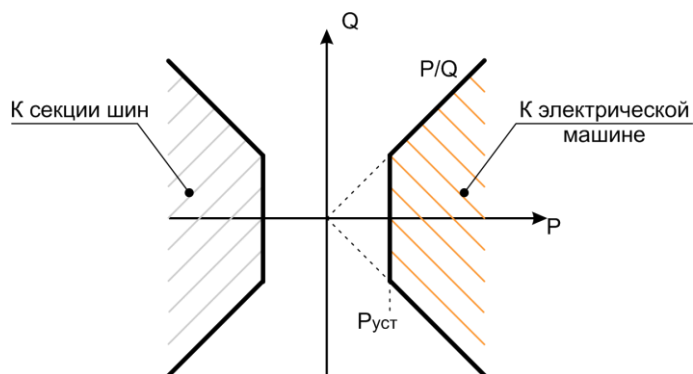


Рис. 3М. 5. Характеристика срабатывания реле направления мощности

ЗАМ имеет две ступени. Направление ступеней задается пользователем независимо друг от друга. Возможное применение защиты:

при задании одного направления:

- первая ступень для блокировки оперативного отключения и отключения от технологических защит;
- вторая ступень для защиты генератора от длительной работы в двигательном режиме;

при задании разных направлений:

- первая ступень для защиты генератора от работы в двигательном режиме;
- вторая ступень для защиты генератора от работы в режиме перегрузки.

Методика выбора параметров срабатывания ЗАМ

Для ЗАМ «МИР ДЗМ» задаются следующие уставки:

- Направление ЗАМ;
- Коэффициент возврата $K_{\text{ВОЗВР.}}$;
- Время возврата $t_{\text{ВОЗВР.}}$;
- Уставка по мощности $P_{\text{УСТ.}}$;
- Выдержка времени $t_{\text{ЗАМ.}}$;
- Допустимое значение $\frac{P}{Q}$.

Уставка отношения активной и реактивной мощностей (допустимое значение $\frac{P}{Q}$) определяет наклон характеристики срабатывания и обусловлена наличием погрешностей реле мощности. Уставка $P_{\text{УСТ.}}$ задает порог срабатывания для ненормального режима или перегрузки.

Методика расчета параметров срабатывания ЗАМ сведена в Таблицу ЗМ.8 . Первый вариант для однонаправленного действия ступеней защиты, второй вариант – для разнонаправленного.

Таблица 3М. 8. Методика расчета параметров срабатывания ЗАМ –однонаправленные ступени

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Направ. ^{I,II}	Обеспечение алгоритма работы ЗАМ генератора	К электрической машине	Защита от ненормального режима работы.
$K_{\text{ВОЗР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗР.}} = 0,935$	–
$t_{\text{ВОЗР.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	–
$P_{\text{УСТ.}}^{\text{I,II}}$	Срабатывание в ненормальном режиме работы	$P_{\text{ЗАМ.}} = \frac{P_{\text{Г.ДВ.}}}{K_{\text{ОТС.}}} ;$ $P_{\text{Г.ДВ.}} = P_{\text{НОМ.Г.}} \cdot P_{\text{НОМ.Г.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки ЗАМ. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,2$; $P_{\text{Г.ДВ.}}$ – активная мощность, потребляемая генератором в двигательном режиме; $P_{\text{НОМ.Г.}}$ – номинальная активная мощность генератора; $P_{\text{НОМ.Г.}}^*$ – активная мощность, потребляемая генератором в двигательном режиме, в о.е. При отсутствии данных для разных типов турбин принимается: $P_{\text{НОМ.Г.}}^* = 0,01 \div 0,03$ для паровых турбин; $P_{\text{НОМ.Г.}}^* = 0,05$ для газовых турбин; $P_{\text{НОМ.Г.}}^* = 0,25$ для дизельных двигателей.
t^{I}	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение $t^{\text{I}} = 0 \div 3 \text{ с.}$	Принимается без выдержки времени на газотурбинных установках. Принимается $t^{\text{I}} = 2 \div 3 \text{ с}$ на прочих установках.
t^{II}	Отстройка от длительной работы в ненормальном режиме	$t^{\text{II}} \geq t_{\text{доп.}}$	$t_{\text{доп.}}$ – допустимое время работы генератора в двигательном режиме.
$(\frac{P}{Q})^{\text{I,II}}$	Отстройка от погрешностей реле мощности	Рекомендуемое значение 3 %	–

Таблица 3М.9. Методика расчета параметров срабатывания ЗАМ – разнонаправленные ступени

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Направ. ^I	Обеспечение алгоритма работы ЗАМ генератора	К электрической машине	Защита от ненормального режима работы.
К _{ВОЗВР.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	–
t _{ВОЗВР.}	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	–
P _{уст.} ^I	Срабатывание в ненормальном режиме работы	$P_{ЗАМ.} = \frac{P_{Г.ДВ.}}{K_{ОТС.}} ;$ $P_{Г.ДВ.} = P_{НОМ.Г.*} \cdot P_{НОМ.Г.}$	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки ЗАМ. Принимается $K_{отс} = 1,2$;</p> <p>P_{г.дв.} – активная мощность, потребляемая генератором в двигательном режиме;</p> <p>P_{ном.г.} – номинальная активная мощность генератора;</p> <p>P_{ном.г.*} – активная мощность, потребляемая генератором в двигательном режиме, в о.е. При отсутствии данных для разных типов турбин принимается:</p> <p>$P_{ном.г.*} = 0,01 \div 0,03$ для паровых турбин;</p> <p>$P_{ном.г.*} = 0,05$ для газовых турбин;</p> <p>$P_{ном.г.*} = 0,25$ для дизельных двигателей.</p>
t ^I	Отстройка от длительной работы в ненормальном режиме	$t^I \geq t_{доп.}$	t _{доп.} – допустимое время работы генератора в двигательном режиме
$(\frac{P}{Q})^{I,II}$	Отстройка от погрешностей реле мощности	Рекомендуемое значение 3 %.	–
Направ. ^{II}	Обеспечение алгоритма работы ЗАМ генератора	К секции	Защита от перегрузки генератора
P _{уст.} ^{II}	Срабатывание в режиме перегрузки	$P_{ЗАМ.} = K_{ОТС.} \cdot P_{ПЕРЕГР.}$	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 1,1$;</p> <p>P_{перегр.} – максимально допустимая мощность генератора</p>
t ^{II}	Отстройка от длительной работы в режиме перегрузки	$t^{II} \geq t_{доп.ПЕРЕГР.}$	t _{доп.перегр.} – допустимое время работы генератора с перегрузкой

Методика расчета направленной защиты по реактивной мощности (ЗРМ)

ЗРМ. Общие сведения

Защита по реактивной мощности направленная (ЗРМ, 32Q) применяется с целью защиты синхронных машин от асинхронной работы, связанной с недостаточным возбуждением или его неправильной регулировкой.

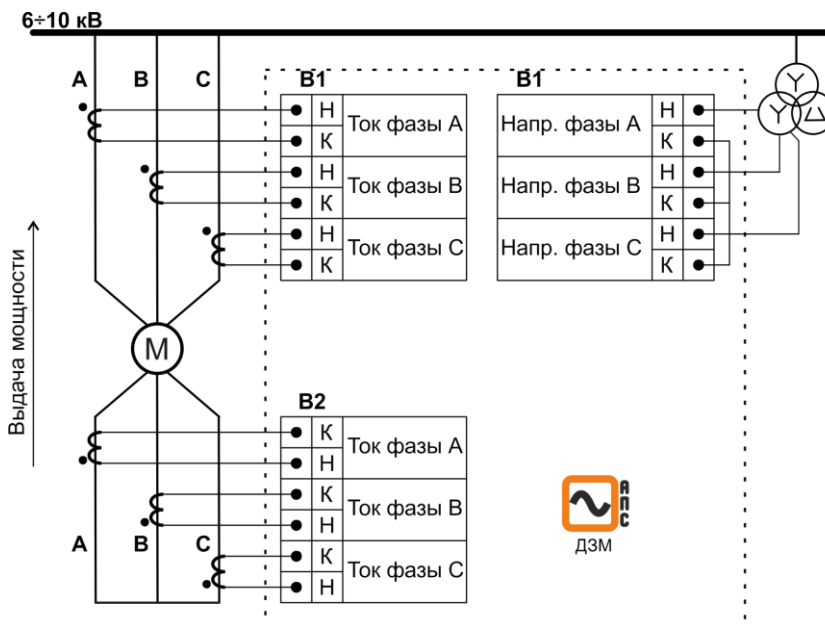


Рис. 3М. 6. Подключение ДЗМ МПУ «МИР ДЗМ» к трансформаторам тока и напряжения

Для заданного подключения МПУ «МИР» к ТТ нормальным режимом работы генератора будет направление реактивной мощности «к секции».

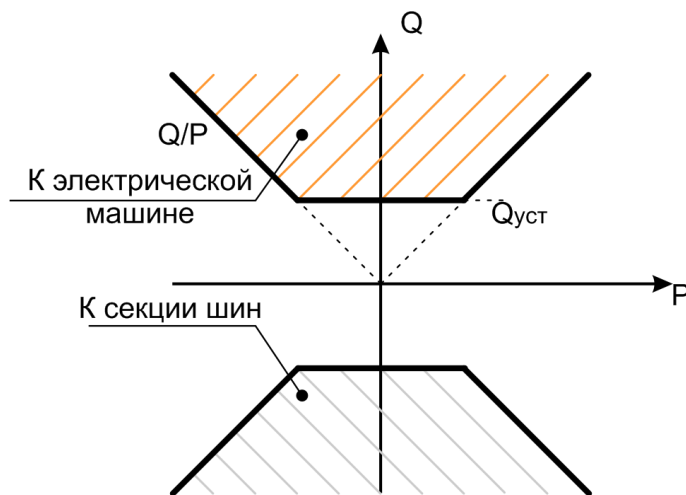


Рис. 3М. 7. Характеристика срабатывания реле направления мощности

Защита выполняется одноступенчатой. Защита срабатывает, когда реактивная мощность меняет свой знак.

Методика выбора параметров срабатывания ЗРМ

Для ЗРМ «МИР ДЗМ» задаются следующие уставки:

- Направление ЗРМ;
- Уставка по мощности $Q_{уст.}$ (в кВар или МВар);
- Выдержка времени $t_{ЗРМ}$;
- Допустимое значение $\frac{Q}{P}$;
- Коэффициент возврата $K_{возвр.}$;
- Время возврата $t_{возвр.}$.

Методика расчета параметров срабатывания ЗРМ сведена в Таблицу ЗМ. 10.

Таблица ЗМ. 10. Методика расчета параметров срабатывания ЗРМ.

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение
Направление	Обеспечение алгоритма работы ЗРМ генератора	К электрической машине.
$K_{возвр.}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{возвр.} = 0,935$.
$t_{возвр.}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0.
$Q_{уст.}$	Срабатывание в ненормальном режиме работы	Рекомендуемая уставка $Q_{уст.} = 10\% \cdot S_{ном.}$ $S_{ном.}$ – полная мощность электрической машины.
$t_{ЗРМ}$	Отстройка от переходных процессов	Рекомендуемое значение $t = 0 \div 3$ с.
$\frac{Q}{P}$	Отстройка от погрешностей реле мощности	Рекомендуемая уставка $\frac{Q}{P} = 3\%$.

Методика расчета защиты от потери возбуждения (ЗПВ)

ЗПВ. Общие сведения

Защита от потери возбуждения (ЗПВ, 40) применяется с целью защиты синхронных машин от асинхронной работы, связанной с недостаточным возбуждением или его неправильной регулировкой. Работает по принципу сравнения полного сопротивления прямой последовательности с заданной уставкой.

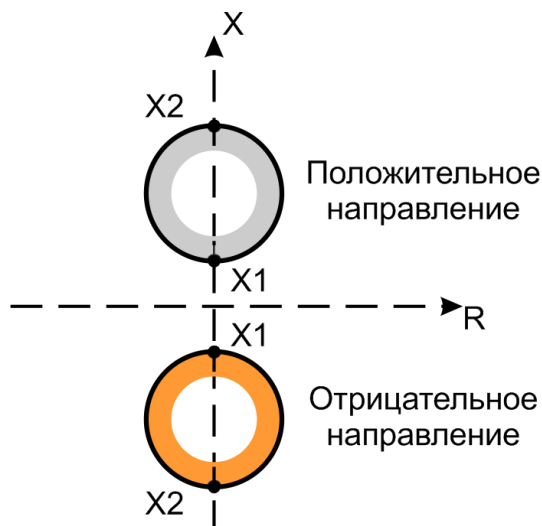


Рис. 3М. 8. Характеристика срабатывания защиты

Защита выполняется двухступенчатой. Повреждения, обнаруженные в характеристике срабатывания I ступени, характеризуют значительную потерю возбуждения и должны быть быстро устранены. В характеристике срабатывания ступени II определяются иные, чем потеря возбуждения, повреждения и в этом случае применяется более длительная выдержка времени на отключение:

Методика выбора параметров срабатывания ЗПВ

Для ЗПВ «МИР ДЗМ» задаются следующие уставки:

- Направление;
- Уровень шума по U;
- Уровень шума по I;
- Коэффициент возврата $K_{\text{возвр.}}$;
- Время возврата $t_{\text{возвр.}}$;
- Уставки по X_1 ;
- Уставки по X_2 ;
- Выдержка времени $t_{\text{ЗПВ}}$.

При вводе параметров электрической машины: полной мощности; номинального напряжения, продольных сопротивлений X_d и X_d' (в процентах) возможен **автоматический расчет параметров срабатывания**.

Методика расчета параметров срабатывания ЗПВ сведена в Таблицу 3М. 11.

Таблица 3М. 11. Методика расчета параметров срабатывания ЗПВ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Направ.	Обеспечение алгоритма работы ЗПВ	Отрицательное	Для генератора задается отрицательное направление.
Уровень шума по $U^{I,II}$	Обеспечение алгоритма работы при погрешностях ТН	Рекомендуемое значение 10 %	–
Уровень шума по $I^{I,II}$	Обеспечение алгоритма работы при погрешностях ТТ	Рекомендуемое значение 2 %	–
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 1,05$	–
$t_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0.	–
$X1^{I,II}$	Срабатывание защиты при АР (асинхронном режиме) генератора	$X1^{I,II} = \frac{X_d'}{200} \cdot Z_{\text{НОМ.}}$	X_d' – переходное индуктивное сопротивление генератора, %; $Z_{\text{НОМ.}}$ – номинальное полное сопротивление машины, Ом; $Z_{\text{НОМ.}} = \frac{U^2}{S_{\text{НОМ.}}}$, где U – номинальное линейное напряжение генератора, кВ; $S_{\text{НОМ.}}$ – номинальная полная мощность генератора, МВА.
$X2^I$	Обеспечение работы при потере возбуждения генератора	$X2^I = \left(\frac{X_d'}{200} + 1 \right) \cdot Z_{\text{НОМ.}}$	–
$X2^{II}$	Обеспечение работы при снижении Возбуждения генератора	$X2^{II} = \left(\frac{X_d}{100} + \frac{X_d'}{200} \right) \cdot Z_{\text{НОМ.}}$	X_d – синхронное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси, %.
t^I	Срабатывание защиты при потере возбуждения	Рекомендуемое значение $t^I = 0 \div 100$ мс.	–
t^{II}	Отстройка от переходных процессов	Рекомендуемое значение $t^{II} = 2 \div 3$ с.	–
	Отстройка от длительного АР	$t^{II} \geq t_{\text{ДЛИТ.ДОП.}} + \Delta t.$	$t_{\text{ДЛИТ.ДОП.}}$ – длительно допустимое время работы генератора в АР, Δt – запас по времени. Принимается $\Delta t = 0,3$ с.

Пример расчета параметров срабатывания защит генератора

Расчет параметров срабатывания ДЗМ

Исходные данные для расчета ДЗМ, МТЗ, ЗАМ, ЗРМ, ЗПВ сведены в Таблицу ЗМ. 12.

Таблица ЗМ. 12. Исходные данные и оценка чувствительности ДЗМ

Исходные данные для расчета: схема и параметры сети		Токи КЗ и качаний:	Оценка чувствительности ДЗМ:
	$P_{НОМ.Г.} = 6 \text{ МВт};$ $U_{НОМ.Г.} = 6,3 \text{ кВ};$ $I_{НОМ.Г.} = 0,687 \text{ кА};$ $\cos \varphi = 0,8;$ ТТ имеют класс точности 10Р; $U_{НОМ.ТН.} = 6,0 \text{ кВ};$ Тип турбины: Паровая турбина; Базисный ток ДЗМ: $I_{БАЗ.} = I_{НОМ.Г.} = 0,687 \text{ кА};$ $x_d = 200\%; x_d' = 20\%;$ $Z_{НОМ.} = \frac{6,3^2}{6/0,8} = 5,3 \text{ Ом};$ $t_{ПРИС.МАКС.} = 0,65 \text{ с}.$	Максимальный ток через защиту в режиме внешнего КЗ: $I_{К2 \text{ МАКС.}}^{(3)} = 2,276 \text{ кА (3,3 о.е.)};$ Минимальный ток через защиту в режиме внутреннего КЗ: $I_{К1 \text{ МИН.}}^{(2)} = 2,2 \text{ кА (3,2 о.е.)}.$ Для оценки чувствительности МТЗ Минимальный ток КЗ при в зоне дальнего резервирования: $I_{К3 \text{ МИН.}}^{(2)} = 1,820 \text{ кА};$ Напряжение на шинах при КЗ в зоне дальнего резервирования: $U_{Л1} = 1 \text{ кВ } U_{Л2} = 1,32 \text{ кВ}.$	Для ДТО в режиме минимального тока внутреннего КЗ: $K_{\text{ч}} = \frac{I_{К1 \text{ МИН.}}^{(2)} *}{I_{ОТС} *} = \frac{3,2}{2} = 1,6 < 2.$ Для ДЗМ (ступень с торможением) в режиме минимального тока внутреннего КЗ (как правило, обеспечивается с большим запасом): $K_{\text{ч}} = \frac{I_{К1 \text{ МИН.}}^{(2)} *}{I_{Д1} *} = \frac{3,2}{0,1} = 32 > 2.$

Расчет параметров срабатывания ДЗМ сведен в Таблицу ЗМ. 13.

**Примечание:* В виду особенностей работы сети, представленной в качестве примера- АР невозможен, поэтому он не рассматривается в примере расчета.

Таблица 3М. 13. Расчет параметров срабатывания ДЗМ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$I_{отс.}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$I_{отс.}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{скв.}^* ;$ $I_{скв.}^* = \frac{I_{кз.макс.}}{I_{баз.}}$	$I_{отс.}^* = 1,5 \cdot 0,56 = 0,84 ;$ $I_{нб.расч.}^* = (3 \cdot 0,5 \cdot 0,1 + 0,02) \cdot 3,3 = 0,56 ;$ $I_{скв.}^* = \frac{2276}{687} = 3,3 .$	2 о.е.
$t_{отс.}$	Обеспечение быстродействия отключения КЗ	$t_{отс.} = 0 \div 100 \text{ мс}$	$t_{отс.} = 0$	0
$I_{д1}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при токе начала торможения	$I_{д1}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{т1}^*$	$I_{д1}^* = 1,5 \cdot 0,035 = 0,053 ;$ $I_{нб.расч.}^* = (1 \cdot 0,5 \cdot 0,1 + 0,02) \cdot 0,5 = 0,035$	0,1 о.е.
$I_{т1}^*$	Обеспечение торможения при внешних КЗ	Рекомендуемое значение $I_{т1}^* = 0,5$	$I_{т1}^* = 0,5$	0,5 о.е.
α_1	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{K_{отс.} \cdot I_{диф.}^* - I_{д1}^*}{I_{торм.}^* - I_{т1}^*} \right) ;$ $I_{диф.}^* = I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2}) \cdot I_{скв.}^* ;$ $I_{торм.}^* = I_{скв.}^* - \frac{I_{нб.расч.}^*}{2} .$	$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{1,1 \cdot 0,4 - 0,1}{3,1 - 0,5} \right) = 7,3 ;$ $I_{нб.расч.} = (2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 + 0,02) \cdot 3,3 = 0,4 ;$ $I_{торм.} = I_{скв.} - \frac{I_{нб.расч.}}{2} = 3,3 - \frac{0,4}{2} = 3,1 ;$	10°
$I_{т2}^*$	Обеспечение торможения при токах, соответствующих большим погрешностями ТТ	Рекомендуемое значение $I_{т2}^* = 1,5$	$I_{т2}^* = 1,5$	1,5 о.е.
α_2	Несрабатывание при внешних КЗ в режиме насыщения ТТ	Рекомендуемое значение $60 \div 90^\circ$	$\alpha_2 = 60 \div 90^\circ$	60°
	Обеспечение излома характеристики	$\alpha_2 \geq \alpha_1 + 10^\circ .$	$\alpha_2 \geq 10 + 10^\circ = 20$	

$t_{ДЗМ}$	Обеспечение быстродействующего отключения КЗ	$t_{ДЗМ} \geq t_{отс.}$	$t_{ДЗМ} = 50 .$	50 мс
		$t_{ДЗМ} = 0 \div 100 \text{ мс.}$		
$t_{ВОЗВР.}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	$t_{ВОЗВР.} = 0 .$	0

Расчет параметров срабатывания МТЗ

Расчет параметров срабатывания МТЗ сведен в Таблицу ЗМ. 14.

Таблица ЗМ. 14. Расчет параметров срабатывания МТЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая
$K_{ВОЗВР}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	$K_{ВОЗВР.} = 0,935$	0,935
$I_{Н2}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	–	Не вводится
$I_{ТО}$	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{ТО} \geq K_{отс.} \cdot I_{КЗ \text{ МАКС.}}^{(3)}$	$I_{ТО} \geq 1,3 \cdot 2276 = 2959$	4 кА
	Отстройка от макс. тока качаний	$I_{ТО} \geq K_{отс.} \cdot I_{AP}$	$I_{ТО} \geq 1,3 \cdot 3076 = 3999$	
$t_{ТО}$	Обеспечение быстр. откл. внутренних КЗ	Рекомендуемое значение 0.	Рекомендуемое значение 0	0
$I_{МТЗ}$	Отстройка от номинального тока статора генератора	$I_{МТЗ} \geq \frac{K_{отс.} \cdot I_{НОМ.Г.}}{K_{ВОЗВР.}}$	$I_{МТЗ} \geq \frac{1,1 \cdot 687}{0,935} = 808,2$	0,809 кА
$t_{МТЗ}$	Отстройка от МТЗ смежных элементов	$t_{МТЗ} \geq t_{СЗ. \text{ см. МАКС.}} + \Delta t.$	$t_{МТЗ} \geq 0,65 + 0,3 = 0,95$	0,95 с

Расчет параметров срабатывания пускового органа по напряжению для комбинированного пуска МТЗ сведен в Таблицу 3М. 15.

Таблица 3М. 15. Расчет пускового органа по напряжению МТЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$U_{с.з.}$	Отстройка от снижения напряжения при АР (если этот режим генератора допустим какое-то время)	$U_{с.з.} \leq (50 \div 60\%) \cdot U_{НОМ.}$	$U_{с.з.} \leq 0,5 \cdot 6,3 = 3,15$	3,15 кВ (53 % от $U_{НОМ.ТН}$)
	Отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки	$U_{с.з.} \leq (60 \div 70\%) \cdot U_{НОМ.}$	$U_{с.з.} \leq 0,6 \cdot 6,3 = 3,78$	
$U_{2с.з.}$	Отстройка от напряжения небаланса ФНОП в нагрузочном режиме	$U_{2с.з.} \geq (7 \div 10\%) \cdot U_{НОМ.}$	$U_{2с.з.} \geq 0,1 \cdot 6,3 = 0,63$	0,63 кВ (11 % от $U_{НОМ.ТН}$)

Оценка чувствительности МТЗ генератора

Таблица 3М. 16. Оценка чувствительности МТЗ генератора

Оценка чувствительности ТО в зоне ближнего резервирования	Оценка чувствительности МТЗ в зоне ближнего резервирования
$K_{ч} = \frac{I_{К1.МИН}^{(2)}}{I_{ТО}} = \frac{2,276}{4} = 0,57 < 2$	$K_{ч} = \frac{I_{К1.МИН}^{(2)}}{I_{ТО}} = \frac{2,276}{0,809} = 2,8 > 1,5$
–	Оценка чувствительности МТЗ в зоне дальнего резервирования
–	$K_{ч} = \frac{I_{К3.МИН}^{(2)}}{I_{МТЗ}} = \frac{1,820}{0,809} = 2,2 > 1,2$
Оценка чувствительности пускового органа по линейному напряжению	Оценка чувствительности пускового органа по напряжению обратной последовательности
$K_{ч} = \frac{U_{с.з.}}{U_{л}} = \frac{3,15}{1} = 3,15 > 1,2$	$K_{ч} = \frac{U_{2с.з.}}{U_2} = \frac{1,32}{0,63} = 2,1 > 1,2$

В зоне ближнего резервирования, подпитка только от генератора, поскольку генератор работает только как резервный.

Чувствительность пусковых органов по напряжению обеспечивается с большим запасом, поскольку при внутренних металлических КЗ линейной напряжение падает до нуля, а напряжение обратной последовательности составляет более 1 кВ

Расчет параметров срабатывания ЗОЗЗ генератора

Исходные данные для расчета и оценки ее чувствительности сведены в Таблицу ЗМ. 17.

АПДЛ.650309 МРУ Редакция от 24.03.2023

Таблица ЗМ. 17. Исходные данные и оценка чувствительности

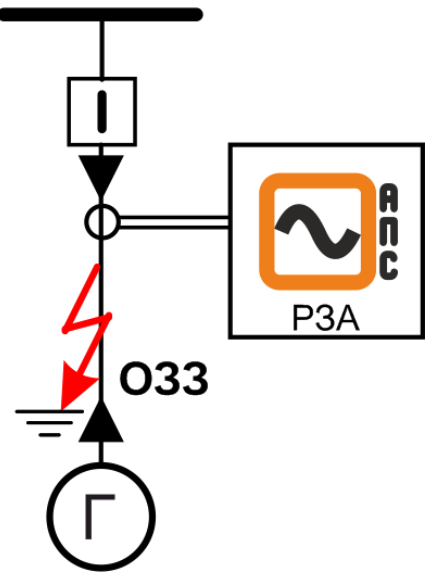
Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом генераторе:	Оценка чувствительности:
<p>6 кВ</p> 	<p> $U_{ном.} = 6 \text{ кВ};$ $P_{ном.ген.} = 6 \text{ МВт};$ $S_{ном.ген.} = 7,5 \text{ МВт};$ Коэффициент трансформации ТТНП: 25 Рассчитанный по [5] собственный емкостный ток присоединения: $C_{\Gamma} \geq \frac{0,0187 \cdot 7,5}{1,2 \cdot \sqrt{6 \cdot (1 + 0,08 \cdot 6)}} \cdot 10^{-6} = 0,039 \cdot 10^{-6};$ $I_{0\Gamma} \geq 3 \cdot 314 \cdot 0,039 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 0,13 \text{ А};$ $I_{0кл} = 0,05 \text{ А};$ $I_0 = I_{0\Gamma} + I_{0кл} = 0,13 + 0,05 = 0,18 \text{ А};$ Максимальный ток небаланса ТТНП: 70 мА; Минимальный ток через защиту при внутреннем ОЗЗ: $3I_0 = I_{0 \text{ повр. мин.}} = 4,5 \text{ А}.$ </p>	<p>Оценка чувствительности ЗОЗЗ:</p> $K_{\text{ч}} = \frac{I_{0 \text{ повр. мин.}}}{I_{\text{ЗОЗЗ}}} = \frac{4,5}{1,3} = 3,5 > 2$

Таблица 3М. 18. Расчет параметров срабатывания 3ОЗ3 генератора

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая
$K_{\text{ВОЗВР}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР}} = 0,935$	–	0,935
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	–	Не вводится
$I_{\text{3ОЗ3}}$	Отстройка от собственного емкостного тока нулевой последовательности защищаемого присоединения	$I_{\text{3ОЗ3}} \geq K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{БР}} \cdot I_{\text{С}}$	$I_{\text{3ОЗ3}} \geq 1,2 \cdot 2 \cdot 0,18 = 0,43$	1,3 А
	Отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{\text{3ОЗ3}} \geq K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ.МАКС}}$	$I_{\text{3ОЗ3}} \geq 2 \cdot 0,07 = 0,14$	
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{\text{3ОЗ3}} \geq I_{\text{3ОЗ3 МИН}}$	$I_{\text{3ОЗ3}} \geq 25 \cdot 0,05 = 1,25$	
$t_{\text{3ОЗ3}}$	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{\text{3ОЗ3}} \geq 1$	$t_{\text{3ОЗ3}} = 1$	1 с

Расчет параметров срабатывания ЗАМ и ЗРМ

Расчет параметров срабатывания ЗАМ и ЗРМ сведен в Таблицы ЗМ. 19 – ЗМ. 20.

Таблица ЗМ. 19. Расчет параметров срабатывания ЗАМ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Направ.	Обеспечение алгоритма работы ЗАМ генератора	К электрической машине	–	К электр. машине
К_{ВОЗВР.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	$K_{ВОЗВР.} = 0,935$	0,935
t_{ВОЗВР.}	Обеспечение возвр. реле	Рекомендуемое значение 0	$t_{ВОЗВР.} = 0$	0
P_{ЗАМ.}^{I,II}	Срабатывание в ненормальном режиме работы	$P_{ЗАМ.} = \frac{P_{Г.ДВ.}}{K_{ОТС.}};$ $P_{Г.ДВ.} = P_{НОМ.Г.} \cdot P_{НОМ.Г.}$	$P_{ЗАМ.} = \frac{0,18}{1,2} = 0,15 ;$ $P_{Г.ДВ.} = 0,03 \cdot 6 = 0,18$	0,15 МВт
t^I	Отстройка от переходных процессов	Рекомендуемое значение $t^I = 0 \div 3 \text{ с}$	$t^I = 2 \text{ с}$	2 с
t^{II}	Отстройка от длительной работы в ненормальном режиме	$t^{II} \geq t_{доп.}$	Данные о длительности допустимой работы отсутствуют. Принята уставка по [4] 20 с	20 с
($\frac{P}{Q}$)^{I,II}	Отстройка от погрешностей реле мощности	Рекомендуемое значение 3 %	$(\frac{P}{Q})^{I,II} = 3\%$	3%

Таблица ЗМ. 20. Расчет параметров срабатывания ЗРМ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Направ.	Обеспечение алгоритма работы ЗРМ генератора	К электрической машине	–	К электр. машине
К_{ВОЗВР.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	$K_{ВОЗВР.} = 0,935$	0,935
t_{ВОЗВР.}	Обеспечение возвр.реле	Рекомендуемое значение 0	$t_{ВОЗВР.} = 0$	0
Q_{УСТ.}	Срабатывание в ненормальном режиме работы	Рекомендуемая уставка $Q_{УСТ.} = 10\% \cdot S_{НОМ.}$	$Q_{УСТ.} = 0,1 \cdot \frac{6}{0,8} = 0,79$	800 кВар
t	Отстройка от переходных процессов	Рекомендуемое значение $t = 0 \div 3 \text{ с}$	$t = 2 \text{ с}$	2 с
$\frac{Q}{P}$	Отстройка от погрешностей реле мощности	Рекомендуемая уставка $\frac{Q}{P} = 3\%$	$\frac{Q}{P} = 3\%$	3%

Расчет параметров срабатывания ЗПВ

Расчет параметров срабатывания ЗПВ сведен в Таблицу ЗМ. 21.

Таблица ЗМ. 21. Расчет параметров срабатывания ЗПВ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Направ.	Обеспечение алгоритма работы ЗПВ	Отрицательное	–	Отрицательное
Уровень шума по $U^{I,II}$	Обеспечение алгоритма работы при погрешностях ТН	Рекомендуемое значение 10 %	–	10 %
Уровень шума по $I^{I,II}$	Обеспечение алгоритма работы при погрешностях ТТ	Рекомендуемое значение 2 %	–	2 %
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 1,05$	$K_{\text{ВОЗВР.}} = 1,05$	1,05
$t_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	$t_{\text{ВОЗВР.}} = 0$	0
$X1^{I,II}$	Срабатывание защиты при АР генератора	$X1^{I,II} = \frac{X_d'}{200} \cdot Z_{\text{НОМ.}}$	$X1^{I,II} = \frac{20}{200} \cdot 5,3 = 0,53$	0,53 Ом
$X2^I$	Обеспечение работы при потере возбуждения генератора	$X2^I = \left(\frac{X_d'}{200} + 1 \right) \cdot Z_{\text{НОМ.}}$	$X2^I = \left(\frac{20}{200} + 1 \right) \cdot 5,3 = 5,82$	5,28 Ом
$X2^{II}$	Обеспечение работы при снижении возбуждения генератора	$X2^{II} = \left(\frac{X_d}{100} + \frac{X_d'}{200} \right) \cdot Z_{\text{НОМ.}}$	$X2^{II} = \left(\frac{200}{100} + \frac{20}{200} \right) \cdot 5,3 = 11,11$	11,11 Ом
t^I	Срабатывание защиты при потере возбуждения	Рекомендуемое значение $t^I = 0 \div 100 \text{ мс}$	$t^I = 100 \text{ мс}$	0,1 с
t^{II}	Отстройка от переходных процессов	Рекомендуемое значение $t^{II} > 2 \div 3 \text{ с}$	$t^{II} = 3 \text{ с}$	3 с
	Отстройка от длительного АР	$t^{II} > t_{\text{длит.доп.}} + \Delta t$	Данные о допустимости режима отсутствуют	

Таблица 3М. 22. 87М: Дифференциальная защита электрической машины (ДЗМ)

Параметр	Значения параметров	Диапазон
	1 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. По авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Вкл. Блок. по I _{H2}	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	10 %	От 0 до 30%, шаг 1%
Дифференциальная отсечка		
Ток срабатывания	2 о.е.	От 2 о.е. до 20 о.е., шаг 0,01 о.е.
Выдержка времени	0 мс	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Параметры характеристики		
Начальный ток срабатывания	0,1 о.е.	От 0,3 о.е. до 1 о.е., шаг 0,01 о.е.
Выдержка времени	50 мс	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Угол α_1	10°	От 0° до 60°, шаг 1°
Ток начала торможения I _{T1}	0,5 о.е.	От 0,4 о.е. до 1 о.е. , шаг 0,01 о.е.
Ток изменения торможения I _{T2}	1,5 о.е.	От 1 о.е. до 100 о.е. , шаг 0,01 о.е.
Угол α_2	60°	От 30° до 90°, шаг 1°
Выбор тока торможения	Полусумма токов	Полусумма токов
Время возврата	0 мс	От 0 до 100 с, шаг 1 мс

Таблица 3М. 23. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита (МТЗ)

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	☒			Активен/Нет
1ВВ				
Вкл.	☒	☒	☐	Активен/Нет
С удержанием	☐	☐	☐	Активен/Нет
С ускорением	☐	☐	☐	Активен/Нет
Откл. по авар.	☒	☒	☐	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	2. Защитой 27 (ступень 1)		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I _{H2}	☐	☐	☐	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	10%	10%		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РЭ)
Уставка по току	4000 А	809 А		От 0,1I _{ном} до 25I _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	0,95 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
K _{ВОЗВР.} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица 3М. 24. 32Р: Защита по активной мощности, направленная (ЗАМ напр.)

Параметр	Значения параметров для групп А и В		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Направление	К электрической машине	К электрической машине	Ввод/К электрической машине
Уставка по мощности	150 кВт	150 кВт	От 0 до 50 МВт, шаг 0,1 кВт
Выдержка времени, с	2 с	20 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Допустимое отношение $\frac{P}{Q}$	3	3	От 0 до 100 %, шаг 0,1 %
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935	От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0	От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица 3М. 25. 32Q: Защита по реактивной мощности, направленная (ЗРМ напр.)

Параметр	Значения параметров для групп А и В		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Направление	К электрической машине	Ввод	Ввод/К электрической машине
Уставка по мощности	800 кВар		От 0 до 50 МВар, шаг 0,1 кВар
Выдержка времени, с	2 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Допустимое отношение $\frac{Q}{P}$	3		От 0 до 100 %, шаг 0,1 %
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица 3М. 26. 40: Защита от потери возбуждения (ЗПВ)

Параметр	Значения параметров для групп А и В		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Направление	Отрицательное	Отрицательное	Отрицательное/Положительное
Выбор ТН	ТН на СШ		ТН на СШ/ТН на КЛ
S (Полная номинальная мощность)	7,5 МВА		От 100 ВА до 50 МВА, шаг 100 ВА
U _{ном.лин.}	6,3 кВ		От 1 В до 40 кВ, шаг 1 В
X _d (синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси)	200 %		От 1 % до 1000 %, шаг 1 %
X _{d`} (переходное индуктивное сопротивление по продольной оси)	20 %		От 1 % до 1000 %, шаг 1 %
Рассчитать (Активация расчета параметров срабатывания)	Кнопка		—
Уровень шума по U	10 % U _{ном}	10 % U _{ном}	От 1 % U _{ном} до 100 % U _{ном} , шаг 1 %
Уровень шума по I	2 % I _{ном}	2 % I _{ном}	От 1 % I _{ном} до 100 % I _{ном} , шаг 1 %
Уставка по X1	0,53 Ом	0,53 Ом	От 0 до 10 кОм, шаг 0,001 Ом
Уставка по X2	5,82 Ом	11,11 Ом	От 0 до 10 кОм, шаг 0,001 Ом
Выдержка времени	0,1 с	3 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
K _{возвр.} (Коэффициент возврата)	1,05	1,05	От 1 до 1,2, шаг 0,001
Время возврата	0	0	От 0 до 10 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА 35/6(10) КВ

Методика расчета дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ)

Общие сведения о ДЗТ

ДЗТ является основной быстродействующей защитой и предназначена для защиты от всех видов КЗ в обмотках и на выводах, включая витковые замыкания в обмотках [1, 2]. ДЗТ устанавливается на одиночно работающих трансформаторах мощностью 6300 кВА и выше, на параллельно работающих трансформаторах мощностью 4000 кВА и выше, и на трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с [2].

ДЗТ подключается к комплектам ТТ со стороны высшего напряжения (ВН) и низшего напряжения (НН), согласно РЭ к МПУ «МИР ДЗТ».

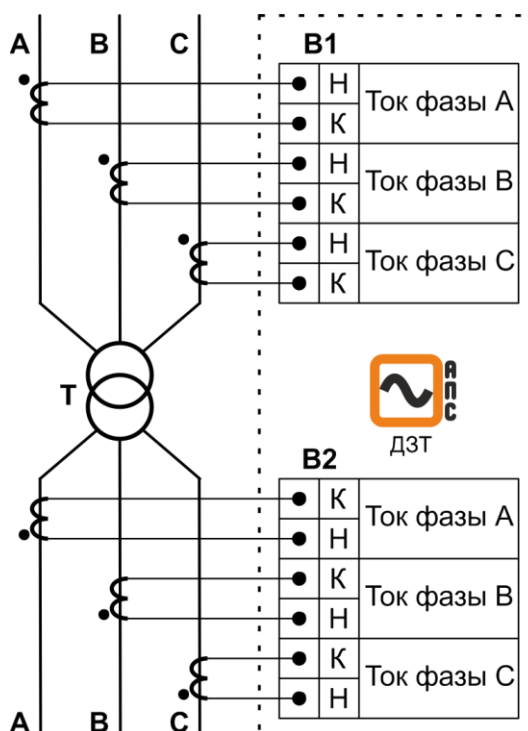


Рис. 3Т. 1. Подключение ДЗТ МПУ «МИР ДЗТ» к трансформаторам тока

Принцип действия ДЗТ основан на сравнении фазных токов с каждой стороны защищаемого объекта.

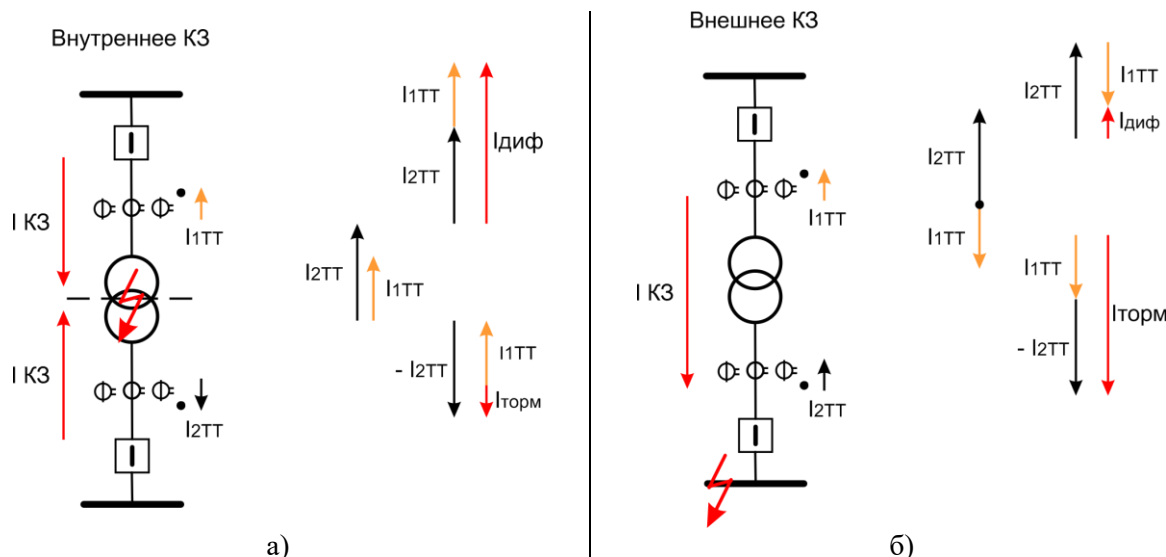


Рис. 3Т. 2. Принцип действия ДЗТ а) внутреннее КЗ, б) внешнее КЗ

Пуск ДЗТ происходит при превышении дифференциального тока заданной уставки, определяемой характеристикой срабатывания. ДЗТ имеет две характеристики срабатывания (две ступени):

- Дифференциальная токовая отсечка («грубая» ступень);
- Дифференциальная токовая защита с торможением («чувствительная» ступень).

Дифференциальная токовая отсечка (ДТО) предназначена для действия при больших токах КЗ (прежде всего, на стороне ВН) без торможения.

Дифференциальный ток для каждой фазы рассчитывается как модуль векторной разности* токов сторон (вводов):

$$I_{\text{диф.}} = |I_{\text{ВВ1}} + I_{\text{ВВ2}}|.$$

Ток торможения рассчитывается как модуль векторной полусуммы* токов (вводов):

$$I_{\text{ТОРМ.}} = \frac{|I_{\text{ВВ1}} - I_{\text{ВВ2}}|}{2}.$$

***Примечание:** Для заданного подключения МПУ к ТТ, для расчета $I_{\text{диф.}}$ используется векторная сумма вторичных токов, а для $I_{\text{ТОРМ.}}$ – векторная разность, с учетом выбранного положительного направления.

При расчете дифференциального и тормозного токов используется значение токов в первичных величинах после корректировки и приведения к стороне высшего напряжения) ВН с учетом группы соединения и полярности подключения ТТ. В МПУ «МИР ДЗТ» используется **цифровое выравнивание токов**.

Цифровое выравнивание позволяет минимизировать погрешности (небалансы), возникающие из-за:

- Неравенства вторичных токов ТТ сторон силового трансформатора;
- Регулирования коэффициента трансформации силового трансформатора с помощью регулирования под нагрузкой (РПН) или переключения без возбуждения (ПБВ);
- Наличия сдвига по фазе между токами сторон силового трансформатора.

В устройстве «МИР ДЗТ» уставки ДЗТ задаются в **относительных единицах** (о.е.).

В МПУ «МИР ДЗТ» расчет базисного тока производится автоматически, после ввода параметров защищаемого силового трансформатора. За базисный ток принят ток стороны ВН, рассчитанный по формуле:

$$I_{\text{БАЗ}} = \frac{S_{\text{НОМ.ТР}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ.ТР}}},$$

где $S_{\text{НОМ.ТР}}$ – номинальная полная мощность силового трансформатора, МВА.

$U_{\text{НОМ. ВН}}$ – номинальное напряжение стороны ВН, кВ.

Погрешность цифрового выравнивания составляет не более 2% от базисного тока.

Для систем с односторонним питанием, если ток с одной стороны защищаемого объекта составляет менее 2% тока с другой стороны, тормозной ток будет равен **нулю**.

Характеристика срабатывания

Дифференциальная токовая защита с торможением действует при всех видах КЗ в трансформаторе даже с малыми значениями токов. Для тормозной характеристики ток срабатывания возрастает при увеличении тормозного тока. Наклон тормозной характеристики определяется, прежде всего, погрешностями комплектов ТТ, к которым подключена защита.

Первый участок характеристики горизонтальный, соответствует минимальным погрешностям ТТ. Он определяется начальным током срабатывания $I_{\text{Д1}}^*$ и током начала торможения I_{T1}^* .

Второй участок характеристики наклонный, определяется углом наклона характеристики относительно оси абсцисс α_1 . Это участок малых токов КЗ, где погрешность ТТ также невелика.

Третий участок характеристики также наклонный, определяется углом наклона характеристики относительно оси абсцисс α_2 . Он начинается с токов торможения $I_{\text{T}}=I_{\text{T2}}^*$. Это участок больших токов КЗ, где ТТ могут входить в насыщение и их погрешность увеличивается.

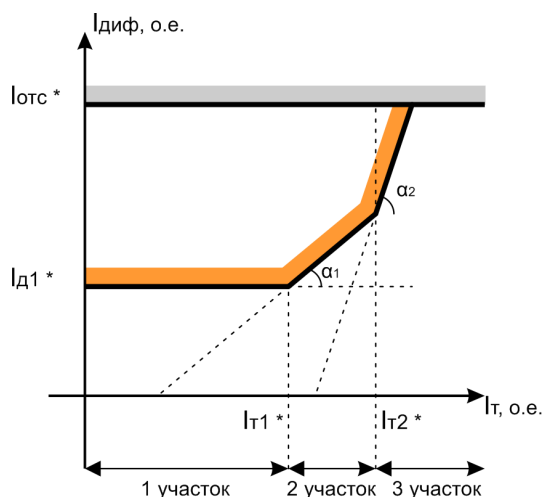


Рис. 3Т. 3. Характеристика срабатывания ДЗТ

Блокировка при бросках тока намагничивания

Для блокировки при БТН предусмотрен блок торможения токовых защит по второй гармонике, который активируется программной накладкой «включение блокировки по I_{H2} ». При ее активации оценивается уровень второй гармоники (H2) фазного тока, протекающего через выключатель стороны ВН, рассчитываемый по формуле:

$$I_{\text{H2A}} = \frac{I_{1\text{ВВ } 100\text{Гц А}}}{I_{1\text{ВВ } 50\text{Гц А}}} \cdot 100\%,$$

где $I_{1\text{ВВ } 100\text{Гц А}}$ – амплитуда второй гармоники тока фазы А первого ввода;

$I_{1\text{ВВ } 50\text{Гц А}}$ – амплитуда первой гармоники тока фазы А первого ввода.

По опыту эксплуатации, рекомендуемая уставка блокировки по I_{H2} для защиты трансформатора составляет 10 – 15 %.

Методика выбора параметров срабатывания ДЗТ

Для ДЗТ «МИР ДЗТ» задаются следующие уставки [3]:

- Блокировка по I_{H2} ;
- Ток срабатывания ДТО I_{OTC}^* ;
- Выдержка времени ДТО t_{OTC}^* ;
- Начальный ток срабатывания I_{D1}^* ;
- Ток начала торможения I_{T1}^* ;
- Угол α_1 ;
- Ток торможения 2 участка I_{T2}^* ;
- Угол α_2 ;
- Выдержка времени характеристики с торможением $t_{ДЗТ}$;
- Время возврата $t_{ВОЗВР}$.

Методика расчета параметров срабатывания ДЗТ приведена в Таблице ЗТ. 1.

Таблица 3Т. 1. Методика расчета параметров срабатывания ДЗТ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{H2} = 10 \div 15 \%$	–
$I_{отс.}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$I_{отс.}^* = K_{отс.} \cdot I_{HБ.РАСЧ.}^* ;$ $I_{HБ.РАСЧ.}^* = (K_{HБ.РАСЧ.1} + K_{HБ.РАСЧ.2} + K_{HБ.РАСЧ.3}) \cdot I_{СКВ}^* ;$ $K_{HБ.РАСЧ.1} = K_{пер.} \cdot K_{одн.} \cdot \varepsilon^* ;$ $K_{HБ.РАСЧ.2} = \Delta U_{рег.}^* ;$ $K_{HБ.РАСЧ.3} = \Delta f_{выр.}^* ;$ $I_{СКВ.}^* = \frac{I_{кз макс}}{I_{баз}} .$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки ДТО. Принимается $K_{отс.} = 1,5$;</p> <p>$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс. Принимается $K_{пер.} = 3$;</p> <p>$K_{одн.}$ – коэффициент однотипности. Для трансформатора принимается $K_{одн.} = 1$;</p> <p>ε^* – максимальная из относительных полных погрешностей ТТ сторон в режиме устранившегося КЗ, принимается 0,1 для ТТ 10Р и 0,05 для ТТ 5Р;</p> <p>$\Delta U_{рег.}^*$ – относительная погрешность регулирования напряжения, рассчитывается как $\Delta U_{рег.}^* = \left \frac{\Delta U_{макс}^* - \Delta U_{мин}^*}{2 \cdot 100} \right$;</p> <p>$\Delta f_{выр.}^*$ – погрешность цифрового выравнивания. Принимается $\Delta f_{выр.}^* = 0,02$;</p> <p>$I_{СКВ.}^*$ – сквозной ток, равный приведенному максимальному току внешнего трехфазного КЗ.</p>
$t_{отс.}$	Обеспечение быстродействующего отключения КЗ	$t_{отс.} = 0 \div 100 \text{ мс}$	Принимается из условий эксплуатации

$I_{д1}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при токе начала торможения	$I_{д1}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2} + K_{нб.расч.3}) \cdot I_{Т1}^* ;$ $K_{нб.расч.1} = K_{пер.} \cdot K_{одн.} \cdot \varepsilon^* ;$ $K_{нб.расч.2} = \Delta U_{рег.}^* ;$ $K_{нб.расч.3} = \Delta f_{выр.}^* .$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс} = (1,1 \div 1,3)$ (1,3 для пускорезервных трансформаторов и трансформаторов с несинхронных АВР);</p> <p>$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс. Принимается $K_{пер.} = (1,5 \div 2,5)$ – при использовании на разных сторонах защищаемого трансформатора однотипных ТТ (только встроенных или только выносных);</p> <p>$K_{пер.} = (2 \div 3)$ – при использовании на разных сторонах защищаемого трансформатора разнотипных ТТ;</p> <p>При этом меньшие значения $K_{пер}$ принимаются при одинаковой схеме соединения ТТ защиты на разных сторонах (например, в звезду), а большее значение – при разных схемах соединения ТТ защиты (на одной из сторон в звезду, на других – в треугольник);</p> <p>$K_{одн.}$ – коэффициент однотипности. Принимается $K_{одн.} = 1$;</p> <p>ε^* – максимальная из относительных полных погрешностей ТТ сторон в режиме устранившегося КЗ, принимается $\varepsilon^* = 0,1$ для ТТ 10Р; $\varepsilon^* = 0,05$ для ТТ 5Р;</p> <p>$\Delta U_{рег.}$ – относительная погрешность регулирования напряжения, рассчитывается как $\Delta U_{рег.} = \left \frac{\Delta U_{макс} - \Delta U_{мин}}{2 \cdot 100} \right$;</p> <p>$\Delta f_{выр.}$ – погрешность цифрового выравнивания, принимается $\Delta f_{выр.}^* = 0,02$.</p>
$I_{Т1}^*$	Обеспечение торможения при внешних КЗ	Рекомендуемое значение $I_{Т1}^* = 1$	–

α_1	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{диф}}^* - I_{\text{д1}}^*}{I_{\text{торм.}}^* - I_{\text{т1}}^*} \right);$ $I_{\text{диф}}^* = I_{\text{нб.расч.}}^*;$ $I_{\text{нб.расч.}}^* = (K_{\text{нб.расч.1}} + K_{\text{нб.расч.2}} + K_{\text{нб.расч.3}}) \cdot I_{\text{скв.}}^*;$ $I_{\text{торм.}}^* = I_{\text{скв.}}^* - \frac{I_{\text{нб.расч.}}^*}{2};$ $I_{\text{скв.}}^* = \frac{I_{\text{кз.макс.}}}{I_{\text{баз.}}}$	<p>$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,1$;</p> <p>$I_{\text{диф}}^*$ – дифференциальный ток;</p> <p>$I_{\text{нб.расч.}}^*$ – ток небаланса, определяется аналогично $I_{\text{д1}}$;</p> <p>$I_{\text{скв.}}^*$ – приведенный максимальный ток внешнего трехфазного КЗ;</p> <p>$I_{\text{торм.}}^*$ – тормозной ток в режиме внешнего КЗ.</p>
$I_{\text{т2}}^*$	Отстройка от максимального тока предельной нагрузки трансформатора	$I_{\text{т2}}^* = K_{\text{отс.}} \cdot K_{\text{пред.нагр.}} \cdot \frac{I_{\text{нагр.макс.}}}{I_{\text{баз.}}}$ <p>При отсутствии точных данных о нагрузке трансформатора рекомендуемое значение $I_{\text{т1}}^* = 2$</p>	<p>$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,1$;</p> <p>$K_{\text{пред.нагр.}}$ – коэффициент предельной нагрузочной способности трансформатора. Принимается $K_{\text{пред.нагр.}} = 1,5$ – для трансформаторов большой мощности; $1,8$ – для трансформаторов средней мощности; $K_{\text{пред.нагр.}} = 2$ – для распределительных трансформаторов;</p> <p>$I_{\text{нагр.макс.}}$ – максимальный ток нагрузки трансформатора.</p>
α_2	Несрабатывание при внешних КЗ в режиме насыщения ТТ	Рекомендуемое значение $60 \div 90^\circ$	–
	Обеспечение излома характеристики	$\alpha_2 \geq \alpha_1 + 10^\circ$	–
$t_{\text{дзт}}$	Обеспечение быстродействующего отключения КЗ	$t_{\text{дзт}} \geq t_{\text{отс}}$	Принимается из условий эксплуатации.
		$t_{\text{дзт}} = 0 \div 100 \text{ мс}$	
$t_{\text{возвр.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	–

Методика расчета токовых защит трансформатора от междуфазных КЗ

Токовые защиты трансформатора. Общие сведения

Токовые защиты трансформатора, при наличии ДЗТ, являются резервными защитами силового трансформатора [1, 2]. Как резервные защиты трансформатора, токовые защиты реализуются в МПУ «МИР». Кроме того, МПУ «МИР ДЗТ» содержит дублирующий набор токовых защит.

На трансформаторах понизительной ПС устанавливают двухступенчатые токовые защиты стороны ВН (ТО+МТЗ ВН) и одноступенчатую МТЗ НН.

Измерительные органы тока ТО и МТЗ ВН подключаются на фазные токи (при незаземленной нейтрали со стороны ВН). Токовые защиты подключаются к комплектам ТТ со стороны высшего напряжения ВН и НН и ТН 6÷10 кВ, согласно РЭ к МПУ «МИР». Подключение к измерительному ТН необходимо, если МТЗ выполняется с комбинированным пуском по напряжению.

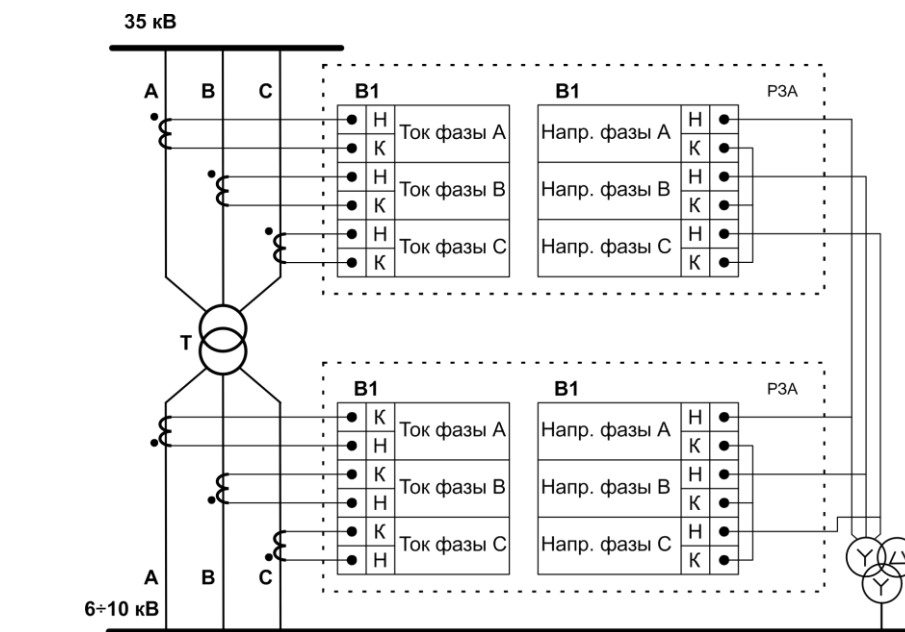


Рис. 3Т. 4. Подключение МПУ «МИР» к трансформаторам тока и напряжения

Принцип действия токовых защит основан на сравнении действующих значений первых гармоник фазных токов с заданной уставкой.

Методика выбора параметров срабатывания токовых защит

В ПО «MIRAPS» задаются следующие уставки токовых защит, для каждой ступени [3]:

- Тип ХВВ;
- Коэффициент возврата $K_{\text{ВОЗВР.}}$;
- Время возврата $t_{\text{ВОЗВР.}}$;
- Уставка по $I_{\text{Н2}}$;
- Уставка по току I ;
- Выдержка времени t .

Для МТЗ сначала проводится расчет тока срабатывания МТЗ без пуска по напряжению. Если при проверке чувствительности по току срабатывания чувствительность МТЗ недостаточна, то необходимо использования пуска по напряжению (по линейному напряжению или U_2). В этом случае ток срабатывания рассчитывают по условию выбора уставки для МТЗ с пуском по напряжению. Затем проверяют чувствительность полученного значения параметра срабатывания.

В методике и примере расчета МТЗ НН имеет две выдержки времени. После набора второй выдержки времени МТЗ НН действует на отключение выключателя стороны ВН, если КЗ не ликвидировано.

Таблица 3Т. 2. Расчет параметров срабатывания МТЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–
$t_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	–
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{\text{Н2}} = 10 \div 15\%$	Вводится, если $t_{\text{МТЗ ВН}} < 0,5 \text{ с.}$
ТО ВН			
$I_{\text{ТО ВН}}$	Отстройка от тока КЗ на шинах НН	$I_{\text{ТО ВН}} = K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{КЗ.МАКС.}}^{(3)}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,2$; $I_{\text{КЗ МАКС}}^{(3)}$ – максимальных ток трехфазного КЗ на шинах НН трансформатора.
	Отстройка от БТН (не рассчитывается, если введена блокировка по $I_{\text{Н2}}$)	$I_{\text{ТО ВН}} = K_{\text{БР.}} \cdot I_{\text{НОМ.}}$	$K_{\text{БР.}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока при броске тока намагничивания, для ступени без выдержки времени может быть принят $K_{\text{БР.}} = 5$; $I_{\text{НОМ.}}$ – номинальный ток трансформатора.
$t_{\text{ТО ВН}}$	Обеспечение быстрогодействия отключения КЗ	Рекомендуемое значение 0	–
МТЗ НН			
$I_{\text{МТЗ НН}}$	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние после откл. внешнего КЗ	$I_{\text{МТЗ НН}} = \frac{K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{Зап.}}}{K_{\text{В.}}} \cdot I_{\text{РАБ.МАКС.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,2$; $K_{\text{Зап.}}$ – коэффициент самозапуска нагрузки трансформатора; $I_{\text{РАБ.МАКС.}}$ – максимальный рабочий ток нагрузки.

$t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{I}}$	Отстройка от времени срабатывания защиты СВ (смежного элемента)	$t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{I}} = t_{\text{MTЗ}}^{\text{CB}} + \Delta t$	$t_{\text{MTЗ}}^{\text{CB}}$ – время срабатывания МТЗ СВ. Δt – степень селективности. Принимается $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами; $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами; $\Delta t = 0,15 - 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с)
$t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{II}}$	Отстройка от первой выдержки времени	$t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{II}} = t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{I}} + \Delta t$	Δt – степень селективности. Принимается $\Delta t = 0,15 \div 0,5$ с (см. МТЗ I НН).
МТЗ ВН			
$I_{\text{MTЗ ВН}}$	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{MTЗ ВН}} = \frac{K_{\text{отс.}} \cdot K_{\text{зап.}}}{K_{\text{возвр.}}} \cdot K_{\text{пер.}} \cdot I_{\text{ном.ВН}}$	$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,2$; $K_{\text{зап.}}$ – коэффициент самозапуска нагрузки трансформатора; $K_{\text{возвр.}}$ – коэффициент возврата реле; $K_{\text{пер.}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение номинального тока при регулировании напряжения (может быть принят 1,05); $I_{\text{ном.ВН}}$ – номинальный ток трансформатора, приведенный к стороне ВН.
	Согласование по чувствительности с МТЗ, установленной на стороне НН трансформатора	$I_{\text{MTЗ ВН}} = K_{\text{отс.}} \cdot (I_{\text{MTЗ НН}} \cdot \frac{U_{\text{НН ном.}}}{U_{\text{ВН ном.}}(1 - \Delta U^*)})$	$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,2$; $I_{\text{MTЗ НН}}$ – ток срабатывания МТЗ стороны НН; $U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение стороны трансформатора; ΔU^* – степень регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой.
$t_{\text{MTЗ ВН}}$	Согласование с временем срабатывания МТЗ, установленной на стороне НН	$t_{\text{MTЗ ВН}} = t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{I}} + \Delta t$	$t_{\text{MTЗ НН}}^{\text{I}}$ – время срабатывания МТЗ стороны НН; Δt – степень селективности. Принимается $\Delta t = 0,15 \div 0,5$ с (см. МТЗ I НН).

Таблица 3Т. 3. Расчет параметров срабатывания МТЗ с пуском по напряжению

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
МТЗ НН с пуском по напряжению			
$U_{с.з.}$	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата реле после отключения внешнего КЗ	$U_{с.з.} = \frac{U_{мин.}}{K_{отс.} \cdot K_{возвр.}}$	$U_{мин.}$ – междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ (ориентировочно принимается $(0,9 \div 0,85) \cdot U_{ном.}$); $K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 1,2$. $K_{возвр.}$ – коэффициент возврата реле. Принимается $K_{возвр.} = 1,05$.
	Отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки	$U_{с.з.} < \frac{U_{зап.}}{K_{отс.}}$	$U_{зап.}$ – междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска заторможенных двигателей нагрузки при включении их от АПВ или АВР (ориентировочно принимается $(0,7 \cdot U_{ном.})$); $K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 1,2$.
$U_{2с.з.}$	Отстройка от напряжения небаланса фильтра напряжений обратной последовательности в нагрузочном режиме	$U_{2с.з.} \geq 0,06 \cdot U_{ном.}$	$U_{ном.}$ – номинальное напряжение стороны НН.
$I_{МТЗ НН}$	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние при протекании максимального тока нагрузки	$I_{МТЗ НН} = \frac{K_{отс.}}{K_{в.}} \cdot I_{раб.макс.}$	$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 1,2$; $K_{возвр.}$ – коэффициент возврата реле. $I_{раб.макс.}$ – максимальный рабочий ток нагрузки.

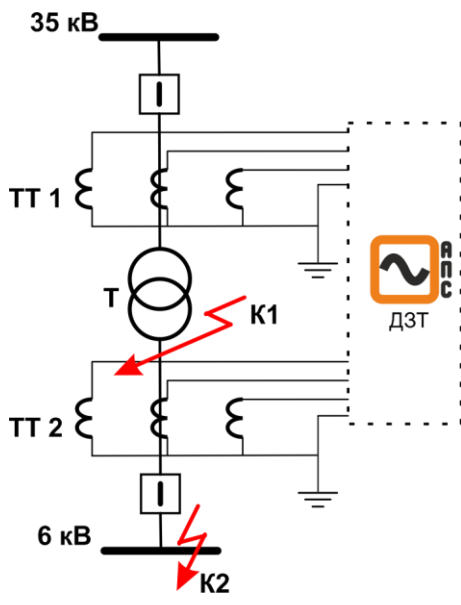
МТЗ ВН с пуском по напряжению			
I_{МТЗ ВН}	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при протекании номинального тока трансформатора	$I_{\text{МТЗ ВН}} = \frac{K_{\text{отс.}} \cdot K_{\text{пер.}}}{K_{\text{возвр.}}} \cdot I_{\text{ном.ВН.}}$	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки. Принимается K_{отс.} = 1,2; K_{возвр.} – коэффициент возврата реле; K_{пер.} – коэффициент, учитывающий увеличение номинального тока при регулировании напряжения (может быть принят 1,05); I_{ном. ВН} – номинальный ток трансформатора, приведенный к стороне ВН.</p>
	Согласование по чувствительности с МТЗ, установленной на стороне НН трансформатора	$I_{\text{МТЗ ВН}} = K_{\text{отс.}} \cdot (I_{\text{МТЗ НН}} \cdot \frac{U_{\text{НН ном.}}}{U_{\text{ВН ном}}(1 - \Delta U^*)})$	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки. Принимается K_{отс.} = 1,2; I_{ном. нн} – ток срабатывания МТЗ стороны НН; I_{МТЗ. нн} – ток срабатывания МТЗ стороны НН; U_{ном.} – номинальное напряжение стороны трансформатора; ΔU* – степень регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой.</p>

Пример расчета параметров срабатывания защит трансформатора

Расчет параметров срабатывания ДЗТ

Исходные данные для расчета ДЗТ и оценка ее чувствительности сведены в Таблицу ЗТ.4.

Таблица ЗТ. 4. Исходные данные и оценка чувствительности

Исходные данные для расчета: схема сети		Токи КЗ:	Оценка чувствительности ДЗТ:
		<p>Фазные токи КЗ, измеренные комплектом ТТ1:</p> $I_{K2 \text{ мин.}}^{(2)} = I_{K3 \text{ мин.}}^{(2)} = 0,62 \text{ кА};$ $I_{K2 \text{ мин.}}^{(3)} = I_{K3 \text{ макс.}}^{(3)} = 1,3 \text{ кА}.$	<p>Чувствительность проверяется при внутреннем КЗ, в условиях отсутствия тормозного тока:</p> $I_{K2 \text{ мин.}}^{(2)} = \frac{0,62}{0,1} = 6,2 \text{ о. е.};$ $K_{\text{ч}} = \frac{I_{K2 \text{ мин.}}^{(2)}}{I_{\text{Д1}}^*} = \frac{6,2}{0,4} = 15,5 > 2.$

Расчет параметров срабатывания ДЗТ сведен в Таблице ЗТ. 5.

Таблица 3Т. 5. Расчет параметров срабатывания ДЗТ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{H2} = 10 \div 15 \%$	$I_{H2} = 10 \%$	10 %
$I_{отс.}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$I_{отс.}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2} + K_{нб.расч.3}) \cdot I_{скв.}^* ;$ $I_{скв.}^* = \frac{I_{кз.макс.}}{I_{баз.}} .$	$I_{отс.}^* = 1,5 \cdot 5,72 = 8,6 ;$ $I_{нб.расч.}^* = (3 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,02) \cdot 13 = 5,72 ;$ $I_{скв.}^* = \frac{1,3}{0,1} = 13 .$	9 о.е.
$t_{отс.}$	Обеспечение быстродействующего отключения КЗ	$t_{отс.} = 0 \div 100 \text{ мс}$	$t_{отс.} = 0$	0
$I_{д1}^*$	Отстройка от максимального тока небаланса при токе начала торможения	$I_{д1}^* = K_{отс.} \cdot I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{нб.расч.}^* = (K_{нб.расч.1} + K_{нб.расч.2} + K_{нб.расч.3}) \cdot I_{т1}^* .$	$I_{д1}^* = 1,1 \cdot 0,34 = 0,37 ;$ $I_{нб.расч.}^* = (2 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,02) \cdot 1 = 0,34 ;$	0,4 о.е.
$I_{т1}^*$	Обеспечение торможения при внешних КЗ	Рекомендуемое значение $I_{т1}^* = 1$	$I_{т1}^* = 1$	1 о.е.
α_1	Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ	$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{K_{отс.} \cdot I_{диф.}^* - I_{д1}^*}{I_{торм.}^* - I_{т1}^*} \right) ;$ $I_{диф.}^* = I_{нб.расч.}^* ;$ $I_{торм.}^* = I_{скв.}^* - \frac{I_{нб.расч.}^*}{2} ;$ $I_{скв.}^* = \frac{I_{кз.макс.}}{I_{баз.}} .$	$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{1,1 \cdot 4,42 - 0,40}{10,8 - 1} \right) = 24,5^\circ ;$ $I_{нб.расч.}^* = (2 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,02) \cdot 13 = 4,42 ;$ $I_{диф.}^* = 4,42 ;$ $I_{торм.}^* = 13 - \frac{4,42}{2} = 10,8 .$	25°

I_{T2}^*	Отстройка от максимального тока предельной нагрузки трансформатора	$I_{T2}^* = K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{ПРЕД.НАГР.}} \cdot \frac{I_{\text{НАГР.МАКС.}}}{I_{\text{БАЗ.}}}$	$I_{T2}^* = K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{ПРЕД.НАГР.}} \cdot \frac{I_{\text{НАГР.МАКС.}}}{I_{\text{БАЗ.}}} = 1,1 \cdot 2 \cdot 0,7 = 1,54;$ $\frac{I_{\text{НАГР.МАКС.}}}{I_{\text{БАЗ.}}} = \frac{0,07}{0,1} = 0,7$	2 о.е.
α_2	Несрабатывание при внешних КЗ в режиме насыщения ТТ	Рекомендуемое значение $60 \div 90^\circ$	—	
	Обеспечение излома характеристики	$\alpha_2 \geq \alpha_1 + 10^\circ$	$\alpha_2 \geq 25 + 10 = 35^\circ$	60°
$t_{\text{ДЗТ}}$	Обеспечение быстродействующего отключения КЗ	$t_{\text{ДЗТ}} \geq t_{\text{ОТС}}$	$t_{\text{ДЗТ}} = 50 \text{ мс}$	50 мс
		$t_{\text{ДЗТ}} = 0 \div 100 \text{ мс}$		
$t_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	$t_{\text{ВОЗВР.}} = 0$	0

Расчет параметров срабатывания токовых защит трансформатора от междуфазных КЗ

Исходные данные для расчета двухступенчатой токовой защиты трансформатора (МТЗ без пуска по напряжению) сведены в Таблицу ЗТ. 6..

Таблица ЗТ. 6. Расчет параметров срабатывания ДЗТ

Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ:	Оценка чувствительности (МТЗ без пуска по напряжению):
	<p>$S_{НОМ.Т} = 6,3 \text{ МВА};$ $U_{НОМ.ВН} = 37 \text{ кВ};$ $U_{НОМ.НН} = 6,3 \text{ кВ};$ $U_{НОМ.ТН} = 6 \text{ кВ};$ $I_{НАГР.МАКС.ВН} = 0,15 \text{ кА};$ $I_{НАГР.МАКС.НН} = 1 \text{ кА};$ $\Delta U^* = 0,12 \text{ о. е};$ $K_{ЗАП.} = 3;$ Время срабатывания защиты СВ: $t_{МТЗ.СВ} = 1,25 \text{ с}.$</p>	<p>КЗ в точке К1 (КЗ на стороне НН): Максимальный ток: $I_{К1}^{(3)} = 1,3 \text{ кА}.$ Минимальные токи КЗ: Приведенный к стороне ВН: $I_{К1}^{(2)} = I_{КЗ \text{ мин}}^{(2)} = 0,62 \text{ кА}.$ Приведенный к стороне НН: $I_{К1}^{(2)} = I_{КЗ \text{ мин}}^{(2)} = 5,9 \text{ кА}.$</p> <p>КЗ в точке К2 (зона дальнего резервирования): Минимальные токи КЗ: Приведенный к стороне ВН: $I_{К2}^{(2)} = I_{КЗ \text{ мин}}^{(2)} = 0,4 \text{ кА}.$ Приведенный к стороне НН: $I_{К2}^{(2)} = I_{КЗ \text{ мин}}^{(2)} = 4 \text{ кА}.$</p> <p>КЗ в точке К3 (КЗ на стороне ВН): Минимальный ток КЗ: $I_{К3}^{(2)} = I_{КЗ \text{ мин}}^{(2)} = 1,9 \text{ кА}.$</p>
		<p>ТО: $K_{ч} = \frac{I_{КЗ \text{ мин}}^{(2)}}{I_{ВН}^{(2)}} = \frac{1,9}{1,6} = 1,18 < 1,5$</p> <p>МТЗ: В зоне ближнего резервирования: МТЗ ВН: $K_{ч} = \frac{I_{К1 \text{ мин}}^{(2)}}{I_{ВН}^{(2)}} = \frac{0,620}{0,88} = 0,8 < 1,5$ МТЗ НН: $K_{ч} = \frac{I_{К1 \text{ мин}}^{(2)}}{I_{НН}^{(2)}} = \frac{5,9}{3,85} = 1,53 > 1,5$</p> <p>В зоне дальнего резервирования: МТЗ ВН: $K_{ч} = \frac{I_{К2 \text{ мин}}^{(2)}}{I_{ВН}^{(2)}} = \frac{0,4}{0,88} = 0,45 < 1,2$ МТЗ НН: $K_{ч} = \frac{I_{К2 \text{ мин}}^{(2)}}{I_{НН}^{(2)}} = \frac{4}{3,85} = 1,04 < 1,2$</p> <p>Необходимо применение МТЗ с пуском по напряжению.</p>

Расчет параметров срабатывания МТЗ сведен в Таблицу ЗТ.7.

Таблица 3Т. 7. Расчет параметров срабатывания МТЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	$K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	0,935
$t_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата реле	Рекомендуемое значение 0	$t_{\text{ВОЗВР.}} = 0$	0
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{\text{Н2}} = 10 \div 15 \%$	$I_{\text{Н2}} = 10 \%$ для ТО ВН	10%
$I_{\text{ТО ВН}}$	Отстройка от тока КЗ на выводах НН трансформатора	$I_{\text{ТО ВН}} = K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{КЗ МАКС.}}^{(3)}$	$I_{\text{ТО ВН}} = 1,2 \cdot 1,3 = 1,6$	1,6 кА
$t_{\text{ТО ВН}}$	–	Рекомендуемое значение 0	$t_{\text{ТО ВН}} = 0$	0
$I_{\text{МТЗ НН}}$	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ	$I_{\text{МТЗ НН}} = \frac{K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{ЗАП.}}}{K_{\text{В.}}} \cdot I_{\text{РАБ.МАКС.}}$	$I_{\text{МТЗ НН}} = \frac{1,2 \cdot 3}{0,935} \cdot 1 = 3,85$	3,85 кА
$t^{\text{I}}_{\text{МТЗ НН}}$	Отстройка от времени срабатывания защиты СВ	$t^{\text{I}}_{\text{МТЗ НН}} = t^{\text{CB}}_{\text{МТЗ}} + \Delta t$	$t^{\text{I}}_{\text{МТЗ НН}} = 1,25 + 0,3 = 1,55$	1,55 с
$t^{\text{II}}_{\text{МТЗ НН}}$	Отстройка от первой выдержки времени	$t^{\text{II}}_{\text{МТЗ НН}} = t^{\text{I}}_{\text{МТЗ НН}} + \Delta t$	$t^{\text{II}}_{\text{МТЗ НН}} = 1,55 + 0,3 = 1,85$	1,85 с

I_{МТЗ ВН}	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{МТЗ ВН}} = \frac{K_{\text{отс.}} \cdot K_{\text{зап.}} \cdot K_{\text{пер.}}}{K_{\text{в.}}} \cdot I_{\text{НОМ.ВН}}$	$I_{\text{МТЗ ВН}} = \frac{1,2 \cdot 3 \cdot 1,05}{0,935} \cdot 0,15 = 0,6$	0,88 кА
	Согласование по чувствительности с МТЗ, установленной на стороне НН трансформатора	$I_{\text{МТЗ ВН}} = K_{\text{отс.}} \cdot \left(I_{\text{МТЗ НН}} \cdot \frac{U_{\text{НН НОМ.}}}{U_{\text{ВН НОМ.}} (1 - \Delta U)} \right)$	$I_{\text{МТЗ ВН}} = 1,2 \cdot \left(3,8 \cdot \frac{6,3}{37(1 - 0,12)} \right) = 0,88$	
t_{МТЗ ВН}	Согласование с временем срабатывания МТЗ, установленной на стороне НН	$t_{\text{МТЗ ВН}} = t_{\text{МТЗ НН}} + \Delta t$	$t_{\text{МТЗ ВН}} = 1,55 + 0,3 = 1,85 \text{ с}$	1,85 с

Поскольку чувствительность МТЗ не обеспечивается, выполняется расчет МТЗ с пуском по напряжению (пуск от ЗМН - 27/27S) в Таблице ЗТ. 8

Таблица 3Т. 8. Расчет параметров срабатывания МТЗ с пуском по напряжению

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
U_{с.з.}	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата реле после отключения внешнего КЗ	$U_{с.з.} \leq \frac{U_{мин.}}{K_{отс.} \cdot K_{в.}}$	$U_{с.з.} \leq \frac{0,9 \cdot 6,3}{1,2 \cdot 1,1} = 4,24$	3,7 кВ (62 % U_{ном.тн})
	Отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки	$U_{с.з.} \leq \frac{U_{зап.}}{K_{отс.}}$	$U_{с.з.} \leq \frac{0,7 \cdot 6,3}{1,2} = 3,7$	
I_{МТЗ нн}	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние при протекании максимального тока нагрузки	$I_{МТЗ нн} = \frac{K_{отс.}}{K_{в.}} \cdot I_{раб.макс.}$	$I_{МТЗ нн} = \frac{1,2}{0,935} \cdot 1 = 1,28$	1,28 кА
I_{МТЗ вн}	Обеспечение устойчивого и немедленного возврата защиты в исходное состояние при протекании максимального тока нагрузки	$I_{МТЗ вн} = \frac{K_{отс.} \cdot K_{пер.}}{K_{в.}} \cdot I_{раб.макс.}$	$I_{МТЗ вн} = \frac{1,2 \cdot 1,05}{0,935} \cdot 0,15 = 0,2$	0,37 кА
	Согласование по чувствительности с МТЗ, установленной на стороне НН трансформатора	$I_{МТЗ вн} = K_{отс.} \cdot (I_{МТЗ нн} \cdot \frac{U_{нн ном.}}{U_{вн ном.} (1 - \Delta U^*)})$	$I_{МТЗ вн} = 1,2 \cdot \left(1,28 \cdot \frac{6,3}{37 \cdot (1 - 0,12)} \right) = 0,37$	

Оценка чувствительности МТЗ с пуском по напряжению

Чувствительность пусковых органов по напряжению в данных расчетных точках можно не проверять, т.к. в месте установки защиты напряжение будет минимально.

Оценка чувствительности МТЗ с пуском по напряжению по току срабатывания в зоне ближнего резервирования приведено в Таблице ЗТ. 9.

Таблица ЗТ. 9. Расчет параметров срабатывания МТЗ с пуском по напряжению

Оценка чувствительности МТЗ ВН в зоне ближнего резервирования	Оценка чувствительности МТЗ НН в зоне ближнего резервирования
$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1МИН}}^{(2)}}{I_{\text{ВН}}^{\text{МТЗ}}} = \frac{0,62}{0,37} = 1,7 > 1,5$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1МИН}}^{(2)}}{I_{\text{НН}}^{\text{МТЗ}}} = \frac{5,9}{1,28} = 4,6 > 1,5$
Оценка чувствительности МТЗ ВН в зоне дальнего резервирования	Оценка чувствительности МТЗ НН в зоне дальнего резервирования
$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К2МИН}}^{(2)}}{I_{\text{ВН}}^{\text{МТЗ}}} = \frac{0,4}{0,37} = 1,1 < 1,2$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К2МИН}}^{(2)}}{I_{\text{НН}}^{\text{МТЗ}}} = \frac{4}{1,28} = 3,1 > 1,2$

Коэффициент чувствительности МТЗ ВН в зоне дальнего резервирования является допустимым, т.к. МТЗ НН обеспечивает чувствительность.

Таблица 3Т. 10. Карта уставок для 87Т: Дифференциальная защита трансформатора (ДЗТ)

Параметр	Значения параметров	Диапазон
	1 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. По авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Вкл. Блок. по I _{H2}	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	10 %	От 0 до 30%, шаг 1%
Дифференциальная отсечка		
Ток срабатывания	9 о.е.	От 2 о.е. до 20 о.е., шаг 0,01 о.е.
Выдержка времени	0	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Параметры характеристики		
Начальный ток срабатывания	0,4 о.е.	От 0,3 о.е. до 1 о.е., шаг 0,01 о.е.
Выдержка времени	50 мс	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Угол $\alpha 1$	25°	От 0° до 60°, шаг 1°
Ток начала торможения I _{T1}	1 о.е.	От 0,4 о.е. до 1 о.е., шаг 0,01 о.е.
Ток изменения торможения I _{T2}	2 о.е.	От 1 о.е. до 100 о.е., шаг 0,01 о.е.
Угол $\alpha 2$	60°	От 30° до 90°, шаг 1°
Выбор тока торможения	Полусумма токов	Полусумма токов
Время возврата	0 мс	От 0 до 100 с, шаг 1 мс

Таблица 3Т. 11. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита (МТЗ)

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Активация защиты	☒			Активен/Нет
1ВВ				
Вкл.	☒	☒	☐	Активен/Нет
С удержанием	☐	☐	☐	Активен/Нет
С ускорением	☐	☐	☐	Активен/Нет
Откл. по авар.	☒	☒	☐	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	2. Защитой 27 (ступень 1)		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I _{H2}	☒	☐	☐	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	10	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	1600 А	370 А		От 0,1I _{ном} до 25I _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	1,85 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
K _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс
2ВВ				
Вкл.	☒	☒	☐	Активен/Нет
С удержанием	☐	☐	☐	Активен/Нет
С ускорением	☐	☐	☐	Активен/Нет
Откл. по авар.	☒	☒	☐	Активен/Нет
Пуск по напряжению	2. Защитой 27 (ступень 1)	2. Защитой 27 (ступень 1)		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I _{H2}	☐	☐	☐	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	0	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	1280 А	1280 А		От 0,1I _{ном} до 25I _{ном} А, шаг 1 А

Выдержка времени	1,55 с	1,85 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
К _{возвр} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица 3Т. 12. Карта уставок для 27/27S: Защита минимального напряжения (ЗМН)

Параметр	Значения параметров			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Активация защиты	☒			Активен/Нет
1ВВ				
Вкл.	☒	☐	☐	Активен/Нет
С удержанием	☐	☐	☐	Активен/Нет
Откл. по авар.	☒	☐	☐	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ			ТН на СШ/ТН на КЛ
Режим напряжения	Линейное			Фазное /Линейное
Уставка по напряжению	62 %Uном			От 5 %Uном до 100 %Uном, шаг 1 %
Выдержка времени	0			От 0 до 100 с, шаг 1 мс
2ВВ				
Вкл.	☒	☐	☐	Активен/Нет
С удержанием	☐	☐	☐	Активен/Нет
Откл. по авар.	☒	☐	☐	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ			ТН на СШ/ТН на КЛ
Режим напряжения	Линейное			Фазное /Линейное
Уставка по напряжению	62 %Uном			От 5 %Uном до 100 %Uном, шаг 1 %
Выдержка времени	0			От 0 до 100 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 1. Методика расчета параметров срабатывания ступенчатой токовой защиты от междуфазных КЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	–	Особенности выбора параметров срабатывания МТЗ с зависимыми ХВВ рассмотрены в примере.
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{\text{Н2.}} = 10 \div 15 \%$	Вводится для защиты трансформаторов, если время срабатывания защиты $t_{\text{сз}} < 0,5$ с, и через защиту возможен БТН.
$I_{\text{ТО}}$	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{КЗ МАКС.}}^{(3)}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,2 \div 1,3$; $I_{\text{КЗ.МАКС.}}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ в конце защищаемого участка (на шинах НН трансформатора) .
	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (K_{\text{П.}} I_{\text{ДВ.НОМ.}} + \sum_{i=1(i \neq j)}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС.}} i)$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,5 \div 2$; $K_{\text{П.}}$, $I_{\text{ДВ.НОМ.}}$ – коэффициент пуска и номинальный ток ЭД с наибольшим пусковым током; $\sum_{i=1(i \neq j)}^n I_{\text{РАБ.СМ.МАКС.}} i$ – максимальный суммарный рабочий ток смежных элементов (исключая ток рассматриваемого двигателя); n – число смежных элементов.
$I_{\text{ТОВ}}$	Отстройка от тока срабатывания ТО или ТОВ смежного объекта	$I_{\text{ТОВ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ТО/ТОВ СМ.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,1$; $I_{\text{ТО/ТОВ СМ.}}$ – ток срабатывания ТО или ТОВ смежного объекта
	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (K_{\text{П.}} \cdot I_{\text{ДВ.НОМ.}} + \sum_{i=1(i \neq j)}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС.}} i)$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,5$; $K_{\text{П.}}$, $I_{\text{ДВ.НОМ.}}$ – коэффициент пуска и номинальный ток ЭД с наибольшим пусковым током; $\sum_{i=1(i \neq j)}^n I_{\text{РАБ.СМ.МАКС.}} i$ – максимальный суммарный рабочий ток смежных элементов (исключая ток рассматриваемого двигателя); n – число смежных элементов.

$t_{\text{тов}}$	Отстройка от времени срабатывания защиты смежных элементов, с которыми производилось согласование по длине защищаемой зоны	$t_{\text{тов}} \geq t_{\text{сз. то/тов см.}} + \Delta t$	<p>$t_{\text{сз. то/тов см.}}$ – время срабатывания ТО или ТОВ смежных (предыдущих) элементов;</p> <p>Δt – степень селективности. Принимается</p> <p>$\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами;</p> <p>$\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами;</p> <p>$\Delta t = 0,15 - 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с)</p>
$I_{\text{МТЗ}}$	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{зап.макс.}}}{K_{\text{возвр.}}} ;$ $I_{\text{зап.макс.}} = K_{\text{зап.}} \cdot I_{\text{ном.}} + I_{\text{раб.макс.}}$	<p>$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,1$;</p> <p>$I_{\text{зап.макс.}}$ – максимальный ток самозапуска ЭД нагрузки в защищаемой линии после отключения внешнего КЗ;</p> <p>$K_{\text{зап.}}$ – коэффициент самозапуска нагрузки. Принимается:</p> <ul style="list-style-type: none"> – при отсутствии в составе нагрузки ЭД напряжением 6 – 10 кВ и при времени срабатывания МТЗ линий более 0,3 с принимается равным $1,1 \div 1,5$; – при наличии в составе нагрузки ЭД 6–10 кВ максимальный ток самозапуска $I_{\text{зап макс}}$ определяется расчетом для конкретной схемы электроснабжения и конкретных условий при наиболее тяжелых условиях пуска полностью заторможенных электродвигателей. – для МТЗ трансформаторов значение принимают $K_{\text{зап}} \approx 1,5 \div 2,9$. Если характер нагрузки трансформаторов неизвестен, для обобщенной нагрузки $K_{\text{зап}} = 2,9$; <p>$I_{\text{ном.}}$ – номинальный ток ЭД или трансформатора;</p> <p>$I_{\text{раб.макс.}}$ – максимальный рабочий ток защищаемого объекта;</p> <p>$K_{\text{возвр.}}$ – коэффициент возврата.</p>
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с МТЗ смежных (предыдущих по направлению к источнику питания) элементов	$I_{\text{МТЗ}} \geq K_{\text{отс.}} (I_{\text{сз.см.макс. j}} + \sum_{i=1(i \neq j)}^{n-1} I_{\text{раб.см.макс. i}})$	<p>$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,1$;</p> <p>$I_{\text{сз.см.макс. j}}$ – максимальный ток срабатывания МТЗ из n смежных элементов;</p> <p>$\sum_{i=1(i \neq j)}^n I_{\text{раб.см.макс. i}}$ – максимальный суммарный рабочий ток смежных элемента (исключая ток j-го элемента, с которым производится согласование по чувствительности);</p> <p>n – число смежных элементов.</p>

t_{MT3}	Отстройка от МТЗ смежных элементов	$t_{MT3} \geq t_{C3.CM.MAKC.} + \Delta t$	$t_{C3.CM.MAKC.}$ – максимальное время срабатывания МТЗ смежных (предыдущих) элементов; Δt – степень селективности. Принимается: $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами; $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами; $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с)
	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{MT3} \geq 0,1$	Для ЭД, где МТЗ применяется как дополнительная степень либо если ТО нечувствительна.

Для МТЗ, выполняющей функции защиты от перегрузки (ЗП) двигателя или трансформатора уставки по току и времени выбираются по методике, сведенной в Таблицу МТЗ. 2.

Таблица МТЗ. 2. Методика расчета параметров срабатывания ЗП

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
I_{MT3}	Обеспечение устойчивого возврата защиты в исходное состояние в режиме перегрузки	$I_{MT3} \geq \frac{K_{OTC.} \cdot I_{НОМ.}}{K_{ВОЗВР.}}$	$K_{OTC.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{OTC.} = 1,1$; $I_{НОМ.}$ – значение номинального тока трансформатора или допустимый ток присоединения; $K_{ВОЗВР.}$ – коэффициент возврата.
	Обеспечение устойчивого возврата защиты в исходное состояние при протекании длительно допустимого тока	$I_{MT3} \geq 1,1 \cdot \frac{K_{OTC.} \cdot I_{ДВ.НОМ.}}{K_{ВОЗВР.}}$	Применяется для ЭД, при отсутствии защиты от затынутаго пуска (48/51LR); $K_{OTC.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{OTC.} = 1,1$; $I_{ДВ.НОМ.}$ – значение номинального тока ЭД; $K_{ВОЗВР.}$ – коэффициент возврата.

t_{MT3}	Отстройка от максимального времени действия основных защит трансформатора	$t_{MT3} \geq t_{C3.MAKC.} + \Delta t$	$t_{C3.MAKC.}$ – максимальное время срабатывания основных защит трансформатора; Δt – степень селективности. Принимается: $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами; $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами; $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с)
	Обеспечение термической стойкости трансформатора	Рекомендуемое значение $t_{MT3} = 9$ с	Применяется для трансформатора.
	Отстройка от времени пуска ЭД	$t_{MT3} \geq 1,5 \cdot t_{ПУСК.}$	Применяется для ЭД, при отсутствии защиты от затянутого пуска (48/51LR); $t_{ПУСК.}$ – время пуска ЭД.

Для МТЗ с пуском по напряжению также выбираются уставки минимального реле напряжения.

6

Таблица МТЗ. 3. Методика расчета параметров срабатывания реле минимального напряжения и/или реле напряжения обратной последовательности

$U_{C.3.}$	Отстройка от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки	$U_{C.3.} \leq (60 \div 70\%) \cdot U_{НОМ.}$	$U_{НОМ.}$ – номинальное междуфазное напряжение, кВ; Уставки задаются в процентах от $U_{НОМ.ТН.}$
$U_{2C.3.}$	Отстройка от напряжения небаланса фильтра напряжений обратной последовательности в нагрузочном режиме	$U_{2C.3.} \geq (6 \div 7\%) \cdot U_{НОМ.}$	

Пример расчета параметров срабатывания токовых защит от междуфазных КЗ

Расчет параметров срабатывания токовой защиты электродвигателей

Исходные данные для расчета токовой защиты ЭД и оценка чувствительности сведены в Таблицу МТЗ. 4.

Таблица МТЗ. 4. Исходные данные и оценка чувствительности

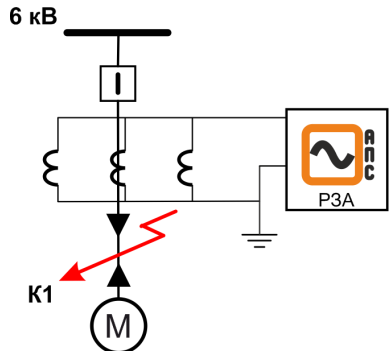
Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом двигателе:	Оценка чувствительности:
	$U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ};$ $P_{НОМ.} = 200 \text{ кВт};$ $I_{НОМ.} = 28,4 \text{ А};$ $t_{ПУСК.} = 5 \text{ с};$ $K_{П.} = 7;$ $K_{ЗАП.} = 2,5;$ Минимальный ток КЗ двухфазного на выводах ЭД: $I_{К1МИН}^{(2)} = 2120 \text{ А}$	Оценка чувствительности ТО: $K_{ч} = \frac{I_{К1МИН}^{(2)}}{I_{ТО}} = \frac{2120}{300} = 7 > 2$

Таблица МТЗ. 5. Расчет параметров срабатывания МТЗ двигателя

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	—	Независимая ХВВ
$K_{ВОЗВР.}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	—	0,935
$I_{Н2}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	—	Не вводится для ТО и МТЗ	Не вводится
$I_{ТО}$	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{ТО} \geq K_{ОТС.} \cdot (K_{П.} \cdot I_{ДВ.НОМ.} + \sum_{i=1}^{n-1} (i \neq j) I_{РАБ.СМ.МАКС. i})$	$I_{ТО} \geq 1,5 \cdot (7 \cdot 28,4 + 0) = 298$	300 А

I_{MT3}	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{MT3} \geq \frac{K_{отс.} \cdot K_{зап.} \cdot I_{дв.ном.}}{K_{возвр.}}$	$I_{MT3} \geq \frac{1,1 \cdot 2,5 \cdot 28,4}{0,95} = 83,5$	84 А
t_{MT3}	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{MT3} \geq 0,1$	$t_{MT3} = 0,1$	0,1 с

Степень МТЗ может выполняться как защита от перегрузки (ЗП). В зависимости от особенностей технологического процесса, МТЗ (ЗП) двигателя может действовать на сигнал или на отключение и иметь независимую или обратно-зависимую ХВВ.

В Таблице МТЗ. 6. приведен пример расчета параметров срабатывания ЗП с независимой ХВВ. Защита от затянутого пуска 48/51LR в данном примере отсутствует.

Таблица МТЗ. 6. Расчет параметров срабатывания МТЗ (ЗП) двигателя

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая ХВВ
K_{возвр.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{возвр.} = 0,935$	–	0,935
I_{MT3(ЗП)}	Обеспечение устойчивого возврата защиты в исходное состояние при протекании длительно допустимого тока	$I_{MT3} \geq 1,1 \cdot \frac{K_{отс.} \cdot I_{дв.ном.}}{K_{возвр.}}$	$I_{MT3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,1 \cdot 28,4}{0,935} = 36,8$	37 А
t_{MT3(ЗП)}	Отстройка от времени пуска ЭД	$t_{MT3} \geq 1,5 \cdot t_{пуск.}$	$t_{MT3} \geq 1,5 \cdot 5 = 7,5$	7,5 с

Расчет параметров срабатывания токовой защиты трансформатора

Исходные данные для расчета токовой защиты трансформатора и оценка чувствительности сведены в Таблицу МТЗ. 7.

Таблица МТЗ. 7. Исходные данные и оценка чувствительности

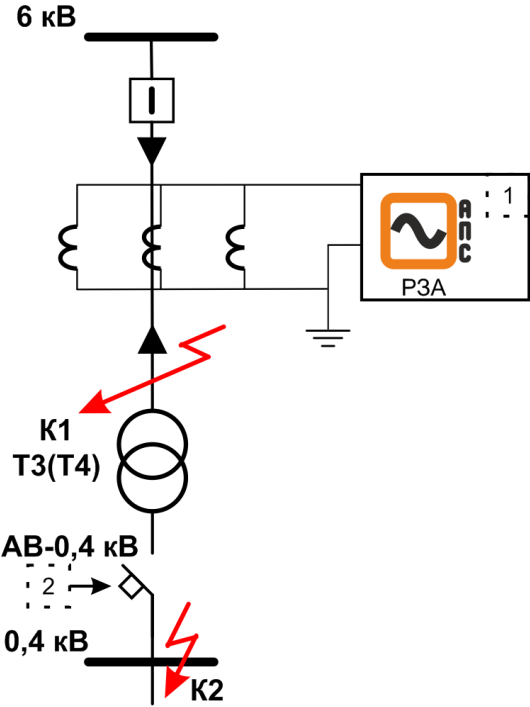
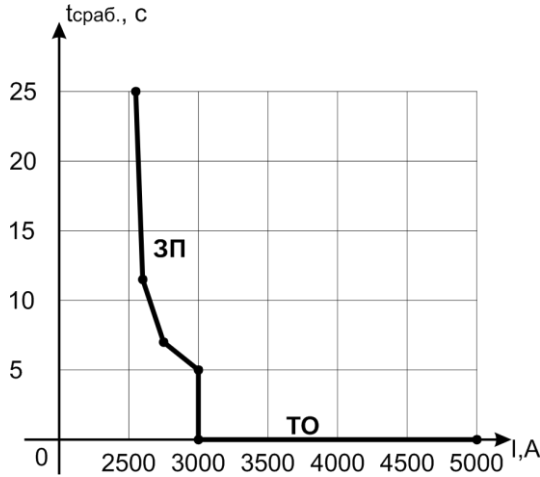
Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом трансформаторе:	Данные о АВ 0,4 кВ (автоматическом выключателе 0,4 кВ) и оценка чувствительности ТО трансформатора:
	<p>$U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ};$ $S_{НОМ.} = 400 \text{ кВА};$ $I_{НОМ.ВН.} = 38,5 \text{ А};$</p> <p>Максимальный ток КЗ трехфазного на стороне НН: $I_{К2 \text{ МАКС.}} = 301 \text{ А}$ (приведенный к стороне 0,4 кВ: 4741 А).</p> <p>Минимальный ток КЗ двухфазного на выводах НН: $I_{К2 \text{ МИН.}} = 226 \text{ А}.$</p> <p>Минимальный ток КЗ двухфазного на выводах ВН: $I_{К1 \text{ МИН.}} = 2076 \text{ А}.$</p>	<p>Данные об автоматическом выключателе (АВ) 0,4 кВ: Ток срабатывания селективной ТО: $I_{с.ТО} = 3000 \text{ А}$ Максимальное время срабатывания селективной ТО: $t_{с.ТО} = 0,03 \text{ с}.$ Вид времятоковой характеристики АВ:</p>  <p>Оценка чувствительности ТО трансформатора:</p> $K_{\text{ч}} = \frac{I_{К1 \text{ МИН.}}^{(2)}}{I_{ТО}} = \frac{2076}{391} = 5,3 > 1,5$

Таблица МТЗ. 8. Расчет параметров срабатывания токовых защит трансформатора ТЗ(Т4) 6/0,4 кВ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	Для ТО и МТЗ	Независимая ХВВ
К_{ВОЗВР.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	Для ТО и МТЗ	0,935
I_{Н2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{\text{Н2.}} = 10 \div 15 \%$	Вводится для ТО трансформатора	10%
I_{ТО}	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{КЗ. МАКС.}}^{(3)}$	$I_{\text{ТО}} \geq 1,3 \cdot 301 = 391$	391 А
I_{МТЗ}	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ЗАП.МАКС.}}}{K_{\text{ВОЗВР.}}}$	$I_{\text{СЗ}} \geq \frac{1,1 \cdot 1,5 \cdot 38,5}{0,935} = 67,9$	210 А (3308 А приведенное к 0,4 кВ)
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с МТЗ смежных (предыдущих по направлению к источнику питания) элементов с АВ 0,4 кВ	$I_{\text{МТЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (I_{\text{СЗ.СМ.МАКС. j}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС i}})$	Согласование с ТО АВ (уставка ТО приводится к 6,3 кВ) $I_{\text{СЗ}} \geq \frac{1,1 \cdot 3000 \cdot 0,4}{6,3} = 210$	
t_{МТЗ}	Отстройка от МТЗ смежных элементов – согласование с АВ 0,4 кВ	$t_{\text{МТЗ}} \geq t_{\text{СЗ.СМ.МАКС.}} + \Delta t$	$t_{\text{МТЗ}} > 0,03 + 0,3 = 0,33$	0,33 с

Графическая интерпретация согласования защиты трансформатора с характеристикой АВ представлена на рисунке. Токи на рисунке приведены к напряжению 0,4 кВ.

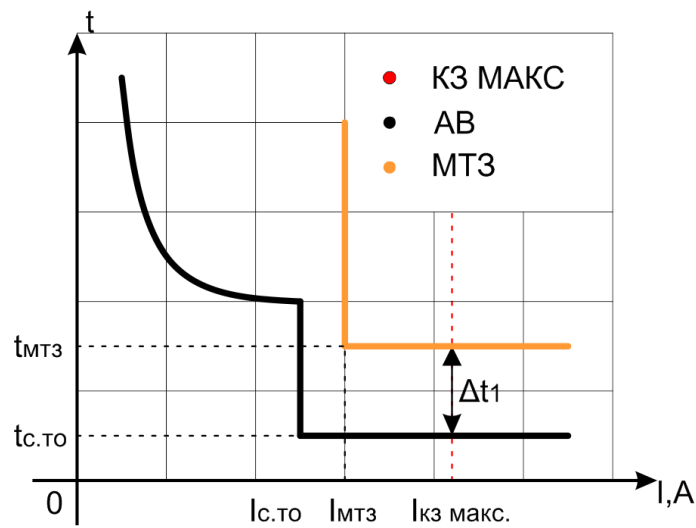


Рис. МТЗ. 2. Методика согласования МТЗ трансформатора с независимой ХВВ с характеристикой АВ-0,4 кВ

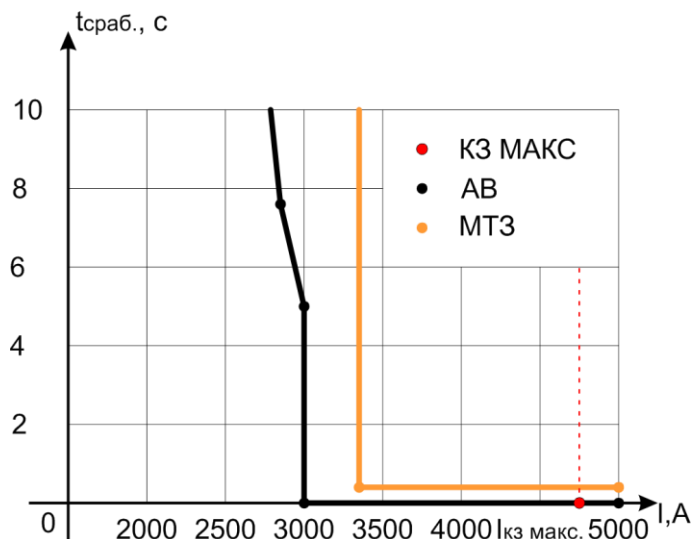


Рис. МТЗ. 3. Согласование МТЗ трансформатора с независимой ХВВ с характеристикой АВ-0,4 кВ

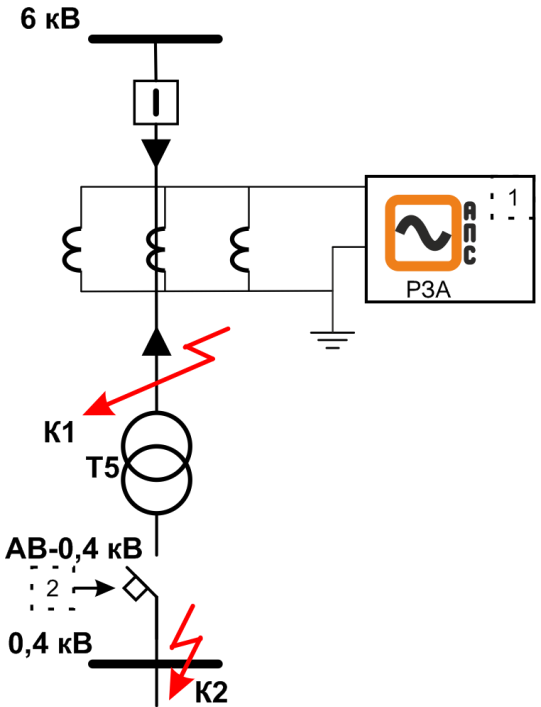
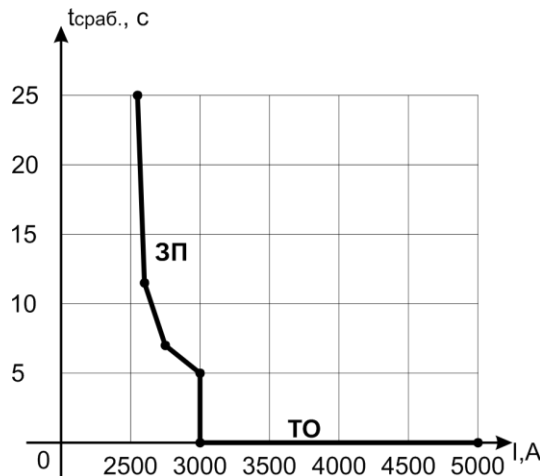
Оценка чувствительности МТЗ с независимой ХВВ в зоне ближнего резервирования:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К2 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{МТЗ}}} = \frac{226}{210} = 1,08 < 1,5.$$

Расчет параметров срабатывания токовой защиты трансформатора с обратнoзависимой МТЗ

Исходные данные для расчета токовой защиты трансформатора и оценка чувствительности сведены в Таблицу МТЗ. 9.

Таблица МТЗ. 9. Исходные данные и оценка чувствительности

Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом трансформаторе:	Данные о АВ 0,4 кВ и оценка чувствительности ТО трансформатора:
	<p>$U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ};$ $S_{НОМ.} = 630 \text{ кВА};$ $I_{НАГР.МАКС} = 52 \text{ А};$ $K_{ЗАП} = 2,5;$</p> <p>Максимальный ток КЗ трехфазного на стороне НН: $I_{К2 \text{ МАКС.}} = 457 \text{ А (приведенный к стороне 0,4 кВ: 7198 А);}$</p> <p>Минимальный ток КЗ двухфазного на выводах НН: $I_{К2 \text{ МИН.}} = 396 \text{ А};$</p> <p>Минимальный ток КЗ двухфазного на выводах ВН: $I_{К1 \text{ МИН.}} = 2076 \text{ А.}$</p>	<p>Данные об автоматическом выключателе (АВ) 0,4 кВ: Ток срабатывания селективной ТО: $I_{С.ТО} = 3000 \text{ А.}$ Максимальное время срабатывания селективной ТО: $t_{С.ТО} = 0,03 \text{ с.}$ Вид времятоковой характеристики АВ:</p>  <p>Оценка чувствительности ТО трансформатора:</p> $K_{ч} = \frac{I_{К1 \text{ МИН.}}^{(2)}}{I_{ТО}} = \frac{2076}{594} = 3,5 > 1,5$

Расчет параметров срабатывания токовой ступенчатой защиты трансформатора сведен в Таблицу МТЗ. 10.

Таблица МТЗ. 10. Расчет параметров срабатывания МТЗ трансформатора Т5 6/0,4 кВ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	Для ТО	Независимая ХВВ
К_{ВОЗВР.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	Для ТО и МТЗ	0,935
I_{Н2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{Н2.} = 10 \div 15 \%$	Вводится для ТО трансформатора	10%
I_{ТО}	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{ТО} \geq K_{ОТС.} \cdot I_{КЗ. МАКС.}^{(3)}$	$I_{ТО} \geq 1,3 \cdot 457 = 594$	594 А
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Ультра-инверсная МЭК	Для МТЗ	Ультра-инверсная МЭК
I_{МТЗ}	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{МТЗ} \geq \frac{K_{ОТС.} \cdot K_{ЗАП} \cdot I_{НОМ.}}{K_{ВОЗВР.}}$	$I_{МТЗ} \geq \frac{1,1 \cdot 2,5 \cdot 52}{0,935} = 152,9$	155 А (2441 А приведенное к 0,4 кВ)
t_{МТЗ}	Отстройка от МТЗ смежных элементов – согласование с АВ 0,4 кВ при максимальном токе КЗ на шинах НН	$t_{СЗ.} \geq t_{СЗ.МАКС.} + \Delta t$	$t_{СЗ.} \geq 0,03 + 0,3 = 0,33$	0,0146
	Нахождение T=t _{МТЗ} для ультра-инверсной характеристики, согласование в точке К2 при максимальном токе КЗ	$T = \frac{t_{СЗ.} \cdot \left(\left(\frac{I_{КЗ МАКС.}}{I_{МТЗ}} \right)^{\alpha} - 1 \right)}{\beta}$	$T = \frac{0,33 \cdot \left(\left(\frac{457}{155} \right)^{2,5} - 1 \right)}{315} = 0,0146$	

Согласование МТЗ Т5 с времятоковой характеристикой АВ-0,4 кВ пояснено на следующем рисунке. Отметим, что вид характеристики МТЗ зависит от вида ХВВ автомата и от величины тока КЗ в точке согласования защит (КЗ на стороне НН трансформатора).

Защиты будут селективны, если при всех возможных значениях токов КЗ МТЗ трансформатора будет иметь большее время, чем время срабатывания АВ. Это условие будет проверяться в трех точках. Первая точка соответствует максимально возможному току КЗ (КЗ на шинах НН трансформатора), где действует селективная ТО автомата. Разность времен срабатывания МТЗ и АВ ($\Delta t = t_{\text{МТЗ}} - t_{\text{АВ}}$) в этой точке обозначим Δt_1 . Обеспечение селективности в этой точке обеспечено уставкой по времени.

При меньших токах (меньше тока срабатывания токовой отсечки АВ $I_{\text{с.о.}}$) МТЗ трансформатора должна иметь большее время, чем ЗП (обратно-зависимый участок ХВВ) автомата. Для проверки последнего условия время срабатывания МТЗ с выбранной характеристикой будет рассчитано в 2х точках, при токах 3000 А и 2800 А. Также проиллюстрируем согласование МТЗ и ЗП автомата на рисунке, где видно, что при всех токах, больше тока срабатывания $I_{\text{МТЗ}}$ время срабатывания МТЗ трансформатора больше.

Для удобства представления на рисунке далее все токи приведены к напряжению 0,4 кВ.

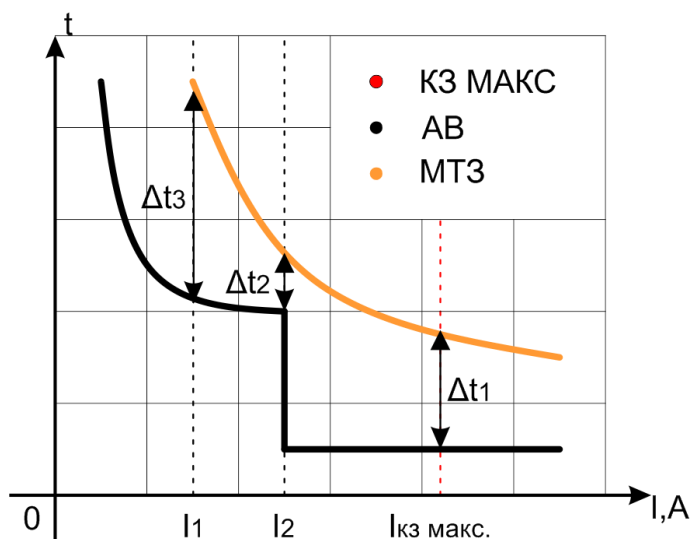


Рис. МТЗ. 4. Согласование МТЗ трансформатора с характеристикой АВ-0,4 кВ, пояснение к оценке Δt

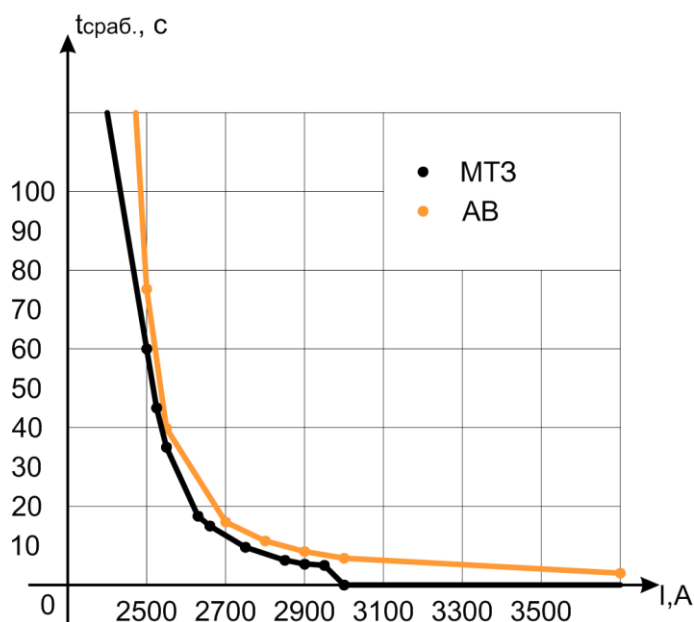


Рис. МТЗ. 5. Согласование МТЗ трансформатора с характеристикой АВ-0,4 кВ

Расчетные формулы для определения времени срабатывания МТЗ с обратозависимыми характеристика представлены в РЭ к МПУ «МИР».

Таблица МТЗ. 11. Расчет времени срабатывания МТЗ и АВ при различных токах

Время срабатывания МТЗ трансформатора при различных токах (2800, 3000):	
$t_{\text{МТЗ}}(2800) = T \cdot \frac{\beta}{\left(\frac{I}{I_{\text{МТЗ}}}\right)^{\alpha} - 1} =$ $= 0,0146 \cdot \frac{315}{\left(\frac{2800}{2441}\right)^{2,5} - 1} = 11,23 \text{ с}$	$t_{\text{МТЗ}}(3000) = 0,0146 \cdot \frac{315}{\left(\frac{3000}{2441}\right)^{2,5} - 1} = 6,8 \text{ с}$
Время срабатывания АВ (по исходным данным):	
$t_{\text{АВ}}(2800) = 6,5 \text{ с}$	$t_{\text{АВ}}(3000) = 5 \text{ с}$
Разность времен срабатывания в двух точках, при согласовании обратозависимой МТЗ и ЗП автомата:	
$\Delta t_3(2800) = 11,23 - 6,5 = 4,73 \text{ с}$	$\Delta t_2(3000) = 6,8 - 5 = 1,8 \text{ с}$

Из Таблицы МТЗ.11. следует, что

$$\Delta t_3(2800) > \Delta t_2(3000)$$

Следовательно, характеристика МТЗ всегда будет идти круче характеристики ЗП.

Проверку чувствительности МТЗ с обратозависимой ХВВ будем производить при токе, равном $1,1 \cdot I_{\text{МТЗ}}$, в зоне ближнего резервирования:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ МИН}}^{(2)}}{1,1 \cdot I_{\text{МТЗ}}} = \frac{396}{1,1 \cdot 155} = 2,32 > 1,5.$$

Расчет параметров срабатывания токовой защиты секционного выключателя (СВ1)

Исходные данные для расчета токовой защиты секционного выключателя и оценка чувствительности сведены в Таблицу МТЗ. 12..

Таблица МТЗ. 12. Исходные данные и оценка чувствительности

Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом трансформаторе:																
<p>К1</p> <p>СВ1 TOB MT3</p> <p>Т3</p> <p>Т4</p> <p>ЭД</p> <p>Г</p> <table><tr><td>ТО</td><td>MT3</td></tr><tr><td>391A</td><td>210A 0,33с</td></tr></table> <table><tr><td>ТО</td><td>MT3</td></tr><tr><td>391A</td><td>210A 0,33с</td></tr></table> <table><tr><td>ТО</td><td></td></tr><tr><td>300A</td><td></td></tr></table> <table><tr><td>ТО</td><td>MT3</td></tr><tr><td>400A</td><td>809A 0,95с</td></tr></table>	ТО	MT3	391A	210A 0,33с	ТО	MT3	391A	210A 0,33с	ТО		300A		ТО	MT3	400A	809A 0,95с	<p>Минимальный ток КЗ на шинах: $I^{(2)}_{K1\text{мин}} = 2157 \text{ A};$</p> <p>Уставки токовых защит от междуфазных КЗ смежных элементов:</p> <p>Т1,2: $I_{TO}=391 \text{ A};$ $I_{MT3}=210 \text{ A};$ $t_{уст}=0,33 \text{ с};$ ХВВ: независимая</p> <p>ЭД: $I_{TO}=300 \text{ A}$</p>
ТО	MT3																
391A	210A 0,33с																
ТО	MT3																
391A	210A 0,33с																
ТО																	
300A																	
ТО	MT3																
400A	809A 0,95с																

Таблица МТЗ. 13. Расчет параметров срабатывания МТЗ СВ1

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	Для ТОВ и МТЗ	Независимая ХВВ
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	Для ТОВ и МТЗ	0,935
$I_{\text{Н2}}$	Обеспеч. блок. при превышении второй гармоники после БТН	–	Не вводится для ТОВ и МТЗ	Не вводится
$I_{\text{ТОВ}}$	Отстройка от тока срабатывания ТО или ТОВ смежного объекта	$I_{\text{ТОВ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ТО/ТОВ СМ.}}$	$I_{\text{ТОВ}} \geq 1,1 \cdot 391 = 430,1$	431 А
	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (K_{\text{П}} \cdot I_{\text{ДВ.НОМ.}} + \sum_{i=1}^{n-1} (i \neq j) I_{\text{РАБ.СМ.МАКС. } i})$	$I_{\text{МТЗ}} \geq 1,5(7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5) = 414$	
$t_{\text{ТОВ}}$	Отстройка от времени сраб. защиты смежных элементов, с которыми производилось согл. по длине защищаемой зоны	$t_{\text{ТОВ}} \geq t_{\text{сз ТО/ТОВ СМ.}} + \Delta t$	$t_{\text{ТОВ}} \geq 0 + 0,3 = 0,3$	0,3 с
$I_{\text{МТЗ}}$	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ЗАП.МАКС.}}}{K_{\text{ВОЗВР.}}};$ $I_{\text{ЗАП.МАКС.}} = K_{\text{ЗАП.}} \cdot I_{\text{НОМ.ДВ.}} + I_{\text{РАБ.МАКС.}}$	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{1,1(7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5)}{0,935} = 303$	305 А
	Согласования по чувствит. (по длине защищаемой зоны) с МТЗ смежных (предыдущих по направ. к ист.у питания) элем.	$I_{\text{МТЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (I_{\text{СЗ.СМ.МАКС. } j} + \sum_{i=1}^{n-1} (i \neq j) I_{\text{РАБ.СМ.МАКС. } i})$	$I_{\text{МТЗ}} \geq 1,1 \cdot (210 + 38,5 + 28,4) = 305$	
$t_{\text{МТЗ}}$	Отстройка от МТЗ смежных элемен.	$t_{\text{МТЗ}} \geq t_{\text{СЗ.СМ.МАКС.}} + \Delta t$	$t_{\text{МТЗ}} \geq 0,33 + 0,3 = 0,63$	0,65 с

Таблица МТЗ. 14. Оценка чувствительности ТОВ и МТЗ СВ в зоне ближнего резервирования

Оценка чувствительности ТОВ в зоне ближнего резервирования:	Оценка чувствительности МТЗ СВ в зоне ближнего резервирования:
$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{ТОВ}}} = \frac{2157}{431} = 5 > 1,5$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{МТЗ}}} = \frac{2157}{305} = 7,07 > 1,5$

81

Исходные данные для расчета: схема сети

Токи КЗ и данные о защищаемом трансформаторе:

Минимальный ток КЗ на шинах:
 $I_{К1\text{мин}}^{(2)} = 2157 \text{ A};$

Уставки токовых защит от междуфазных КЗ смежных элементов:

CB1:
 $I_{\text{TOB}} = 431 \text{ A};$
 $t_{\text{TOB}} = 0,3 \text{ c};$
 $I_{\text{MT3}} = 305 \text{ A};$
 $t_{\text{MT3}} = 0,65 \text{ c};$

Ток трехфазного КЗ на шинах:
 $I_{К1\text{макс}}^{(3)} = 4673 \text{ A};$

Ток двухфазного КЗ на шинах:
 $I_{К1\text{мин}}^{(2)} = 3930 \text{ A};$

Ток трехфазного КЗ в начале линии (месте установки ТО):
 $I_{К2\text{макс}}^{(3)} = 7004 \text{ A};$

При включении CB1 BB2 всегда ОТКЛЮЧЕН! Расчет параметров срабатывания защит BB1 производится аналогично защитам CB1

Таблица МТЗ. 16. Расчет параметров срабатывания ТОВ ВВ1

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая ХВВ
$K_{\text{ВОЗВР}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР}} = 0,935$	–	0,935
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	Не вводится для ТОВ и МТЗ	Не вводится
$I_{\text{ТОВ}}$	Отстройка от тока срабатывания ТО или ТОВ смежного объекта	$I_{\text{ТОВ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ТО/ТОВ см.}}$	$I_{\text{ТОВ}} \geq 1,1 \cdot 391 = 430,1$	431 А
$t_{\text{ТОВ}}$	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (K_{\text{П}} I_{\text{ДВ.НОМ.}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС } i})$	$I_{\text{МТЗ}} \geq 1,5(7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5) = 414$	0,3 с
	Отстройка от времени срабатывания защиты смежных элементов, с которыми производилось согласование по длине защищаемой зоны	$t_{\text{ТОВ}} \geq t_{\text{СЗ.ТО/ТОВ см.}} + \Delta t$	$t_{\text{ТОВ}} \geq 0 + 0,3 = 0,3$	
$I_{\text{МТЗ}}$	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ЗАП.МАКС.}}}{K_{\text{ВОЗВР.}}}$ $I_{\text{ЗАП.МАКС.}} = K_{\text{ЗАП.}} \cdot I_{\text{НОМ.ДВ.}} + I_{\text{РАБ.МАКС.}}$	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{1,1(7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5)}{0,935} = 303$	305 А
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с МТЗ смежных (предыдущих по направлению к источнику питания) элементов	$I_{\text{МТЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot (I_{\text{СЗ.СМ.МАКС. } j} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС } i})$	$I_{\text{МТЗ}} \geq 1,1 \cdot (210 + 38,5 + 28,4) = 305$	
$t_{\text{МТЗ}}$	Отстройка от МТЗ смежных элементов	$t_{\text{МТЗ}} \geq t_{\text{СЗ.СМ.МАКС.}} + \Delta t$	$t_{\text{МТЗ}} \geq 0,33 + 0,3 = 0,63 \text{ с}$	0,65 с

Таблица МТЗ. 17. Оценка чувствительности ТОВ и МТЗ ВВ1 в зоне ближнего резервирования

Оценка чувствительности ТОВ в зоне ближнего резервирования:	Оценка чувствительности МТЗ ВВ1 в зоне ближнего резервирования:
$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{ТОВ}}} = \frac{3930}{431} = 9,2 > 1,5$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{МТЗ}}} = \frac{3930}{305} = 13 > 1,5$

Таблица МТЗ. 18. Расчет параметров срабатывания токовой защиты ВВ2

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	Для ТО и МТЗ	Независимая ХВВ
$K_{\text{ВОЗР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗР.}} = 0,935$	Для ТО и МТЗ	0,935
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{\text{Н2.}} = 10 \div 15 \%$	$I_{\text{Н2.}} = 10\%.$ Для ТО	10%
$I_{\text{ТО}}$	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{КЗ. МАКС.}}^{(3)}$	$I_{\text{ТОВ}} \geq 1,1 \cdot 4673 = 5137$	5137 А
	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot \left(K_{\text{П.}} \cdot I_{\text{ДВ.НОМ.}} + \sum_{i=1(i \neq j)}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС.}i} \right)$	$I_{\text{МТЗ}} \geq 1,5 \cdot (7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5) = 414$	
$I_{\text{МТЗ}}$	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{ЗАП.МАКС.}}}{K_{\text{ВОЗВР.}}};$ $I_{\text{ЗАП.МАКС.}} = K_{\text{ЗАП.}} \cdot I_{\text{НОМ.ДВ.}} + I_{\text{РАБ.МАКС.}}$	$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{1,1 \cdot (7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5)}{0,935} = 303$	475 А
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с МТЗ смежных (предыдущих по направлению к источнику питания) элементов	$I_{\text{МТЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot \left(I_{\text{СЗ.СМ.МАКС.}j} + \sum_{i=1(i \neq j)}^{n-1} I_{\text{РАБ.СМ.МАКС.}i} \right)$	$I_{\text{МТЗ}} \geq 1,1 \cdot 431 = 474,1$	
$t_{\text{МТЗ}}$	Отстройка от МТЗ смежных элементов	$t_{\text{МТЗ}} \geq t_{\text{СЗ.СМ.МАКС.}} + \Delta t$	$t_{\text{МТЗ}} \geq 0,65 + 0,3 = 0,95 \text{ с}$	0,95 с

Таблица МТЗ. 19. Оценка чувствительности ТО ВВ2 и МТЗ ВВ2

Оценка чувствительности ТО ВВ2 в месте установки защиты	Оценка чувствительности МТЗ ВВ2 в зоне ближнего резервирования:
$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К2 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{ТО}}} = \frac{7004}{5137} = 1,36 > 1,2$	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1 МИН}}^{(2)}}{I_{\text{МТЗ}}} = \frac{3930}{475} = 8,3 > 1,5$

Расчет параметров срабатывания токовой защиты секционного выключателя (СВ2)

Таблица МТЗ. 20. Расчет параметров срабатывания МТЗ СВ2

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	Для ТОВ и МТЗ	Независимая ХВВ
К_{ВОЗР.}	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗР.} = 0,935$	Для ТОВ и МТЗ	0,935
I_{Н2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	—	Не вводится для ТОВ и МТЗ	Не вводится
I_{ТОВ}	Отстройка от тока срабатывания ТО или ТОВ смежного объекта	$I_{ТОВ} \geq K_{ОТС.} \cdot I_{ТО/ТОВ\text{ см.}}$	$I_{ТОВ} \geq 1,1 \cdot 5137 = 5651$	5651 А
	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$I_{ТО} \geq K_{ОТС.} \cdot (K_{П.} \cdot I_{ДВ.НОМ.} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{РАБ.СМ.МАКС\ i})$	$I_{МТЗ} \geq 1,5(7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5) = 414$	
t_{ТОВ}	Отстройка от времени срабатывания защиты смежных элементов, с которыми производилось согласование по длине защищаемой зоны	$t_{ТОВ} \geq t_{СЗ.ТО/ТОВ\text{ см.}} + \Delta t$	$t_{ТОВ} \geq 0 + 0,3 = 0,3$	0,3 с
I_{МТЗ}	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{МТЗ} \geq \frac{K_{ОТС.} \cdot I_{ЗАП.МАКС.}}{K_{ВОЗР.}};$ $I_{ЗАП.МАКС.} = K_{ЗАП.} \cdot I_{НОМ.ДВ.} + I_{РАБ.МАКС.}$	$I_{МТЗ} \geq \frac{1,1(7 \cdot 28,4 + 2 \cdot 38,5)}{0,935} = 303$	686 А
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с МТЗ смежных (предыдущих по направлению к источнику питания) элементов	$I_{МТЗ} \geq K_{ОТС.} \cdot (I_{СЗ.СМ.МАКС.\ j} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{РАБ.СМ.МАКС\ i})$	$I_{МТЗ} \geq 1,1 \cdot (523 + 100) = 685,3$	
t_{МТЗ}	Отстройка от МТЗ смежных элементов	$t_{МТЗ} \geq t_{СЗ.СМ.МАКС.} + \Delta t$	$t_{МТЗ} \geq 0,95 + 0,3 = 1,25\text{ с}$	1,25 с

Таблица МТЗ. 21. Оценка чувствительности ТОВ ВВ2 и МТЗ СВ в зоне ближнего резервирования:

Оценка чувствительности ТО ВВ2 в месте установки защиты:	Оценка чувствительности МТЗ ВВ2 в зоне ближнего резервирования:
$K_{ч} = \frac{I_{К2\text{ МИН}}^{(2)}}{I_{ТО}} = \frac{7004}{5651} = 1,24 < 1,5$	$K_{ч} = \frac{I_{К2\text{ МИН}}^{(2)}}{I_{МТЗ}} = \frac{7004}{686} = 10,2 > 1,5$

Таблица МТЗ. 22. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита (МТЗ) ЭД

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения	1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I _{H2}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	0	0	0	От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая	1. Независимая	1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	300 А	84 А	37 А	От 0,1 _{ном} до 25 _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	0,1 с	7,5 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935	0,935	От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0	0	От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 23. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита (МТЗ) трансформатора ТЗ 6/0,4 кВ

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I _{H2}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	10 %	0		От 0 до 30%, шаг 1%

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	391 А	210 А		От 0,1 _{ном} до 25 _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	0,33 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 24. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита (МТЗ) трансформатора Т5 6/0,4 кВ

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Активация защиты		<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I _{Н2}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{Н2}	10	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	5. Ультра-инверсная МЭК		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	594 А	155 А		От 0,1 _{ном} до 25 _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	0,0146 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 25. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита СВ1

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Активация защиты		<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I_{H2}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I_{H2}	0	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	431 А	305 А		От 0,1 $I_{ном}$ до 25 $I_{ном}$ А, шаг 1 А
Выдержка времени	0,3 с	0,65 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
$K_{возвр.}$ (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 26. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита ВВ1

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I_{H2}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I_{H2}	0	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	431 А	305 А		От 0,1 $I_{ном}$ до 25 $I_{ном}$ А, шаг 1 А
Выдержка времени	0,3 с	0,65 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
$K_{возвр.}$ (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 27. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита ВВ2

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I_{H2}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I_{H2}	10 %	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	5137 А	475 А		От 0,1 $I_{ном}$ до 25 $I_{ном}$ А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	0,95 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
$K_{возвр.}$ (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица МТЗ. 28. Карта уставок для 50/51: Максимальная токовая защита СВ2

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Пуск по напряжению	1. Без подтверждения	1. Без подтверждения		1 – 3 (согласно РУ)
Вкл. Блок. по I_{H2}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I_{H2}	0	0		От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая		1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	5651 А	686 А		От 0,1 $I_{ном}$ до 25 $I_{ном}$ А, шаг 1 А
Выдержка времени	0,3 с	1,25 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
$K_{возвр.}$ (Коэффициент возврата)	0,935	0,935		От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0		От 0 до 10 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА НАПРАВЛЕННЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ

Методика расчета направленной токовой защиты ЛЭП от междуфазных КЗ

Токковые направленные защиты. Общие сведения

Токковая направленная защита от междуфазных КЗ сочетает в себе функцию МТЗ с функцией обнаружения направления повреждения. Пуск защиты происходит при превышении тока заданной уставки в заданном направлении.

Токковая направленная защита подключается к фазным трансформаторам тока (ТТ) и трансформаторам напряжения (ТН) защищаемого объекта согласно РЭ к МПУ «МИР». Токковые направленные защиты применяются в основном на ЛЭП 35 кВ.

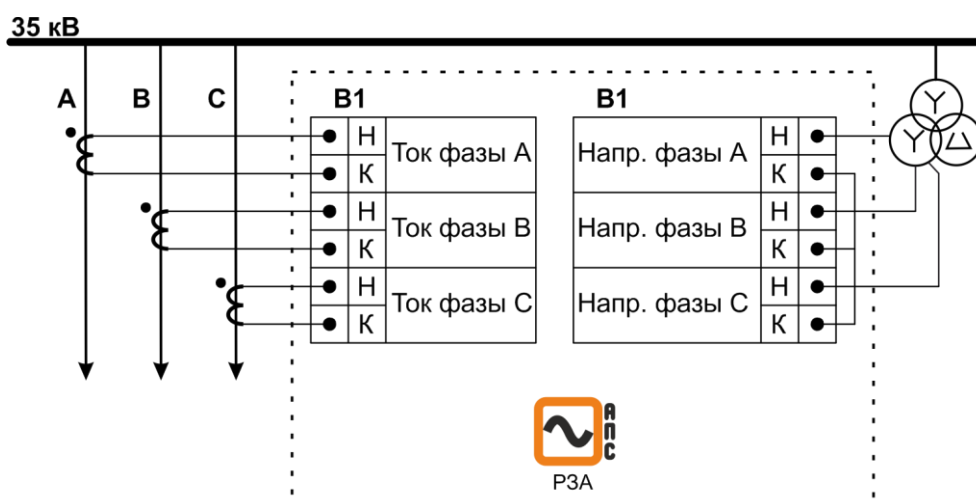


Рис. МТЗН. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформаторам тока и напряжения

Характеристика реле направления мощности представлена на рисунке МТЗН. 2.

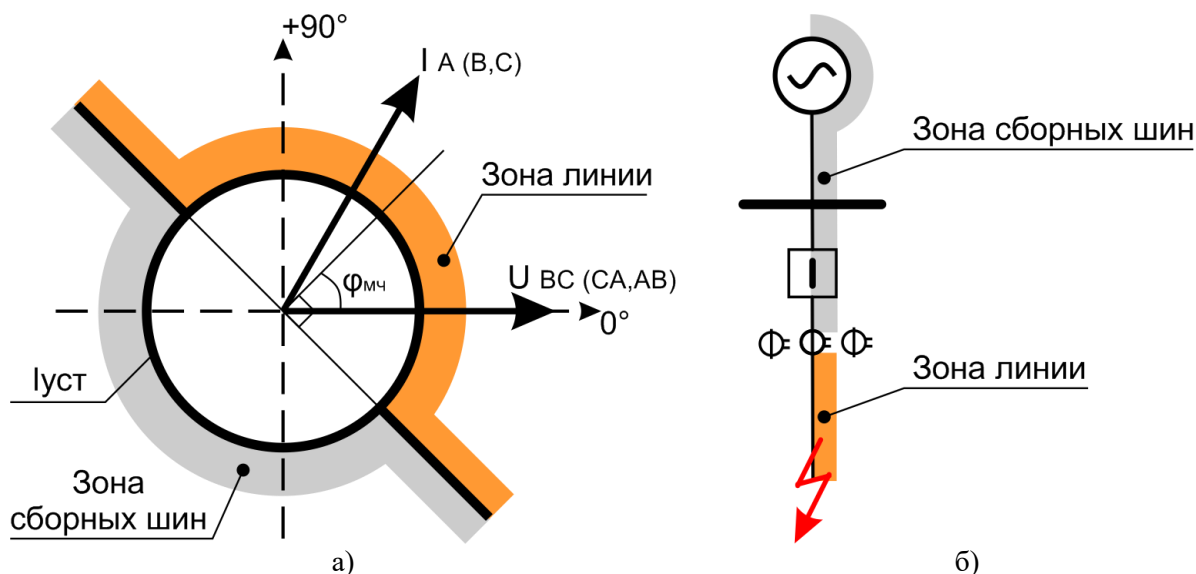


Рис. МТЗН. 2. Реле направление мощности: а) зона срабатывания ($\varphi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности), б) однолинейная схема защищаемого объекта

Методика выбора параметров срабатывания направленной токовой защиты

В MIRAPS задаются следующие уставки направленной токовой защиты, для каждой ступени [3]:

- Тип ХВВ;
- Уставка по I_{H2} ;
- Коэффициент возврата $K_{ВОЗВР.}$;
- Время возврата $t_{ВОЗВР.}$;
- Угол фмч;
- Направление;
- Логика отключения;
- Уставка по току I ;
- Выдержка времени t .

В MIRAPS возможно задание 2 ступеней токовой направленной защиты (67). Выбор количества ступеней происходит по конкретному проектному решению.

Таблица МТЗН. 1. Методика расчета параметров срабатывания ступенчатой токовой направленной защиты от междуфазных КЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	–	Особенности выбора параметров срабатывания МТЗ с зависимыми ХВВ рассмотрены в примере
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{H2} = 10 \div 15 \%$	Вводится для защиты, если время срабатывания защиты $t_{сз} < 0,3 \div 0,5$ с, и через защиту возможен БТН
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–
$t_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданным временем	Рекомендуемое значение $t_{\text{ВОЗВР.}} = 0$	–
$\varphi_{\text{мч}}$	Обеспечение чувствительности к внутренним КЗ на ЛЭП	$\varphi_{\text{мч}} = \varphi_{\text{л.}}$	$\varphi_{\text{л}}$ – угол линии. Принимается $\varphi_{\text{л}} = \arctg \frac{X_{\text{уд.л.}}}{R_{\text{уд.л.}}}$, где $X_{\text{уд.л.}}$ – удельное индуктивное сопротивление линии; $R_{\text{уд.л.}}$ – удельное активное сопротивление линии.
Направление	Обеспечение срабатывания при внутренних КЗ	Линия	
Логика отключения	Выбирается согласно проекту	–	Один из трех – отключение при превышении уставки одного из трех фазных токов; Два из трех – отключение при превышении уставки двух из трех фазных токов.
$I_{\text{то}}$	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{\text{то}} \geq K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{КЗ макс.}}^{(3)}$	$K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{отс.}} = 1,2 \div 1,3$; $I_{\text{КЗ макс.}}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ в конце защищаемого участка (на шинах НН трансформатора).

I_{MT3}	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{MT3} \geq \frac{K_{отс.} \cdot I_{зап.макс.}}{K_{возвр.}} ;$ $I_{зап.макс.} = K_{зап.} \cdot I_{РАБ.макс.}^{от шин}$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.}=1,1$;</p> <p>$I_{зап.макс.}$ – максимальный ток самозапуска ЭД нагрузки в защищаемой линии после отключения внешнего КЗ;</p> <p>$K_{зап.}$ – коэффициент самозапуска нагрузки. Принимается:</p> <ul style="list-style-type: none"> – при отсутствии в составе нагрузки ЭД напряжением $6 \div 10$ кВ и при времени срабатывания МТЗ линий более 0,3 с принимается равным $1,1 \div 1,5$; – для нагрузки, содержащей двигателя на стороне $6 \div 10$ кВ, коэффициент самозапуска рассчитывается индивидуально; <p>$I_{РАБ.макс.}^{от шин}$ – максимальный рабочий ток линии, протекающий в направлении от шин в линию;</p> <p>$K_{возвр.}$ – коэффициент возврата.</p>
	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при нормальных рабочих токах, протекающих от линии к шинам	$I_{MT3} \geq \frac{K_{отс.} \cdot I_{РАБ.макс.}^{к шинам}}{K_{возвр.}} .$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.}=1,1$;</p> <p>$I_{РАБ.макс.}^{к шинам}$ – максимальный рабочий ток линии, протекающий в направлении от линии к шинам;</p> <p>$K_{возвр.}$ – коэффициент возврата.</p>
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с резервной защитой смежной линии	$I_{MT3} \geq K_{отс.} \cdot I_{сз.см.макс.} \cdot$	<p>$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.}=1,1$;</p> <p>$I_{сз.см.макс.}$ – максимальный ток срабатывания резервных защит смежных элементов.</p>
t_{MT3}	Отстройка от резервных защит смежных элементов	$t_{MT3} \geq t_{сз.см.макс.} + \Delta t$	<p>$t_{сз.см.макс.}$ – максимальное время срабатывания резервных защит смежных элементов;</p> <p>Δt – ступень селективности. Принимается</p> <ul style="list-style-type: none"> $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами; $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами; $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 – 0,05 с)

Пример расчета параметров токовой направленной защиты от междуфазных КЗ

Расчет параметров срабатывания токовой направленной защиты ЛЭП

Исходные данные для расчета токовой защиты ЭД и оценка чувствительности сведены в Таблицу МТЗН. 2.

Таблица МТЗН. 2. Исходные данные и оценка чувствительности

Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемой ЛЭП:	Оценка чувствительности:
	<p> $U_{НОМ.} = 35 \text{ кВ};$ $I_{ОТ ШИН РАБ.МАКС.} = 0,14 \text{ кА};$ $I_{К ШИНАМ РАБ.МАКС.} = 0,13 \text{ кА};$ $K_{ЗАП.} = 1,5;$ $\varphi_{Л.} = 70^\circ;$ </p> <p>Максимальный ток трехфазного КЗ в конце линии 1: $I_{К1МАКС}^{(3)} = 3,3 \text{ кА};$ </p> <p>Максимальный ток трехфазного КЗ на шинах ПС1: $I_{К2МАКС}^{(3)} = 5,2 \text{ кА};$ </p> <p>Ток срабатывания защиты смежной ЛЭП (МТЗ Л2, защита 2): $I_{СЗ.Л2.МАКС.} = 0,318 \text{ кА};$ Время срабатывания МТЗ ПС 1: $t_{СЗ.ПС2.МАКС.} = 1,85 \text{ с};$ Время срабатывания МТЗ ПС 2: $t_{СЗ.ПС2.МАКС.} = 1,9 \text{ с};$ </p> <p>Минимальные токи двухфазного КЗ: $I_{К1МИН}^{(2)} = 2,7 \text{ кА};$ $I_{К3МИН}^{(2)} = 2,15 \text{ кА};$ $I_{К4МИН}^{(2)} = 0,152 \text{ кА}.$ </p>	<p>Оценка чувствительности ТО:</p> $K_{Ч} = \frac{I_{К2 МАКС}^{(3)}}{I_{ТО}} = \frac{5,2}{4,3} = 1,21 > 1,2;$ <p>Оценка чувствительности МТЗ:</p> <p>В зоне ближнего резервирования:</p> $K_{Ч} = \frac{I_{К1 МИН}^{(2)}}{I_{МТЗ}} = \frac{2,7}{0,35} = 7,7 > 1,5 ;$ <p>В зоне дальнего резервирования:</p> $K_{Ч} = \frac{I_{К3 МИН}^{(2)}}{I_{МТЗ}} = \frac{2,15}{0,35} = 6,1 > 1,2 ;$ $K_{Ч} = \frac{I_{К4 МИН}^{(2)}}{I_{МТЗ}} = \frac{0,152}{0,35} = 0,44$

Таблица МТЗН. 3. Расчет параметров срабатывания токовой направленной защиты

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая	Для ТО и МТЗ	Независимая
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	Рекомендуемое значение $I_{H2.} = 10 \div 15 \%$	$I_{H2.} = 10.$ Вводится для ТО	10% для ТО
$K_{ВОЗВР.}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	$K_{ВОЗВР.} = 0,935.$ Для ТО и МТЗ	0,935
$t_{ВОЗВР.}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданным временем	Рекомендуемое значение $t_{ВОЗВР.} = 0$	$t_{ВОЗВР.} = 0$ Для ТО и МТЗ	0
$\varphi_{МЧ}$	Обеспечение чувствительности к внутренним КЗ на ЛЭП	$\varphi_{МЧ} = \varphi_{Л.}$	$\varphi_{МЧ} = 70$ Для ТО и МТЗ	70°
Направление	Обеспечение срабатывания при внутренних КЗ	Линия	Для ТО и МТЗ	Линия
Логика отключения	Выбирается согласно проекту	Один из трех	Для ТО и МТЗ	Один из трех
$I_{ТО}$	Отстройка от тока КЗ в конце защищаемого участка в максимальном режиме сети	$I_{ТО} \geq K_{ОТС.} \cdot I_{КЗ \text{ МАКС.}}^{(3)}$	$I_{ТО} \geq 1,3 \cdot 3,3 = 4,29$	4,3 кА

I_{МТЗ}	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при максимальном токе самозапуска электродвигателей нагрузки	$I_{МТЗ} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{ЗАП.МАКС.}}{K_{ВОЗВР.}} ;$ $I_{ЗАП.МАКС.} = K_{ЗАП.} \cdot I_{РАБ.МАКС.}^{ОТ ШИН}$	$I_{МТЗ} \geq \frac{1,1 \cdot 1,5 \cdot 0,14}{0,935} = 0,247$	0,35 кА
	Обеспечения возврата защиты в исходное состояние после отключения внешнего КЗ при нормальных рабочих токах, протекающих от линии к шинам	$I_{МТЗ} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{РАБ.МАКС.}^{К ШИНАМ}}{K_{ВОЗВР.}}$	$I_{МТЗ} \geq \frac{1,1 \cdot 0,13}{0,935} = 0,153$	
	Согласования по чувствительности (по длине защищаемой зоны) с резервной защитой смежной линии	$I_{МТЗ} \geq K_{ОТС} \cdot I_{СЗ.СМ.МАКС.}$	$I_{МТЗ} \geq 1,1 \cdot 0,318 = 0,35$	
t_{МТЗ}	Отстройка от резервных защит смежных элементов	$t_{МТЗ} \geq t_{СЗ.СМ.МАКС.} + \Delta t$	$t_{МТЗ} \geq 1,9 + 0,3 = 2,1$	2,1 с

Проверка необходимости выполнения ступеней направленными [4]:

Проверка необходимости выполнения **ТО** направленной:

$$K_{ОТС.РАСЧ.ТО} \geq \frac{I_{МТЗ}}{I_{К2МАКС}} = \frac{4,3}{5,2} = 0,83 < 1,3 - \text{ТО выполняется направленной.}$$

Проверка необходимости выполнения **МТЗ** направленной:

$$K_{ОТС.РАСЧ.МТЗ} \geq \frac{I_{МТЗ} \cdot K_{ВОЗВР.}}{K_{ЗАП.} \cdot I_{РАБ.МАКС.}^{К ШИНАМ}} = \frac{0,35 \cdot 0,935}{1,3 \cdot 0,13} = 1,93 > 1,2$$

$$\Delta t_{РАСЧ.} \geq t_{МТЗ} - t_{МТЗ ПС1} = 2,1 - 1,85 = 0,25 < 0,3 - \text{МТЗ выполняется направленной}$$

Таблица МТЗН. 4. Карта уставок для 67: Максимальная токовая защита, направленная (МТЗН)

Параметр	Значения параметров для групп А и В		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С ускорением	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ	ТН на СШ	ТН на СШ/ТН на КЛ
Вкл. Блок. по I_{H2}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I_{H2}	10 %	0	От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая	1. Независимая	1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	4,3 кА	0,35 кА	От 0,1 $I_{ном}$ до 25 $I_{ном}$ А, шаг 1 А
Выдержка времени	0	2,1 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Угол	70°	70°	От 0° до 180°, шаг 1°
$K_{возвр.}$ (Коэффициент возврата)	0,935	0,935	От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0	0	От 0 до 10 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Методика расчета защит от однофазных замыканий на землю

Защиты от ОЗЗ. Общие сведения

ЗОЗЗ может действовать как на сигнал, так и на отключение в зависимости от местных условий и требований безопасности.

По цепям тока ЗОЗЗ может подключаться как к фазным ТТ, образующим фильтры нулевой последовательности, так и к специальным трансформаторам тока нулевой последовательности (ТТНП). При отсутствии сигнала на входе (клемме) $3I_0$ и неактивной вкладке «ТТНП» в настройке МПУ «МИР» ток нулевой последовательности будет рассчитываться программно.

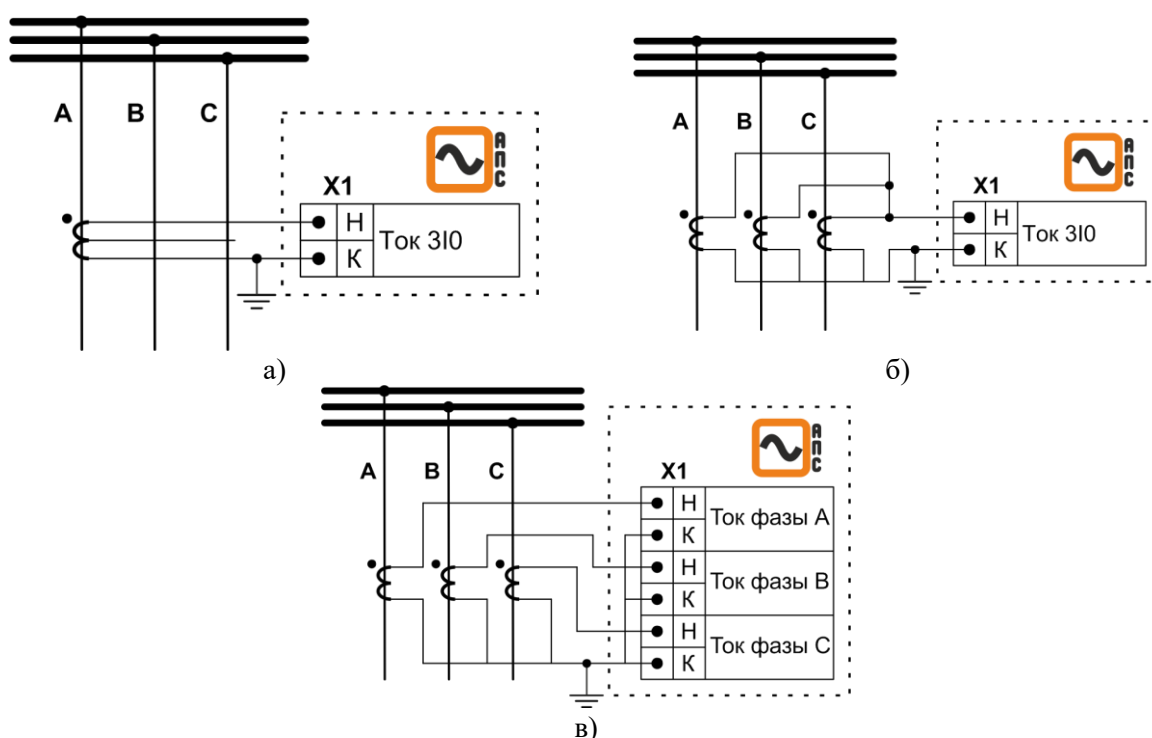


Рис. 3ОЗЗ. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформаторам тока:

- а) подключение к ТТНП;
- б) подключение к ФТНП, $3I_0$ измеряется;
- в) подключение к ФТНП, $3I_0$ рассчитывается.

Отметим, что в нормальном режиме и в режимах внешних КЗ для фильтров тока нулевой последовательности характерны большие токи небаланса, чем для специальных кабельных ТТНП.

Для получения напряжения нулевой последовательности аналоговый вход $3U_0$ подключают, как правило, к специальной обмотке разомкнутого треугольника ТН или к трехтрансформаторному фильтру напряжений нулевой последовательности. В МПУ «МИР» также возможен расчет напряжения нулевой последовательности из фазных напряжений.

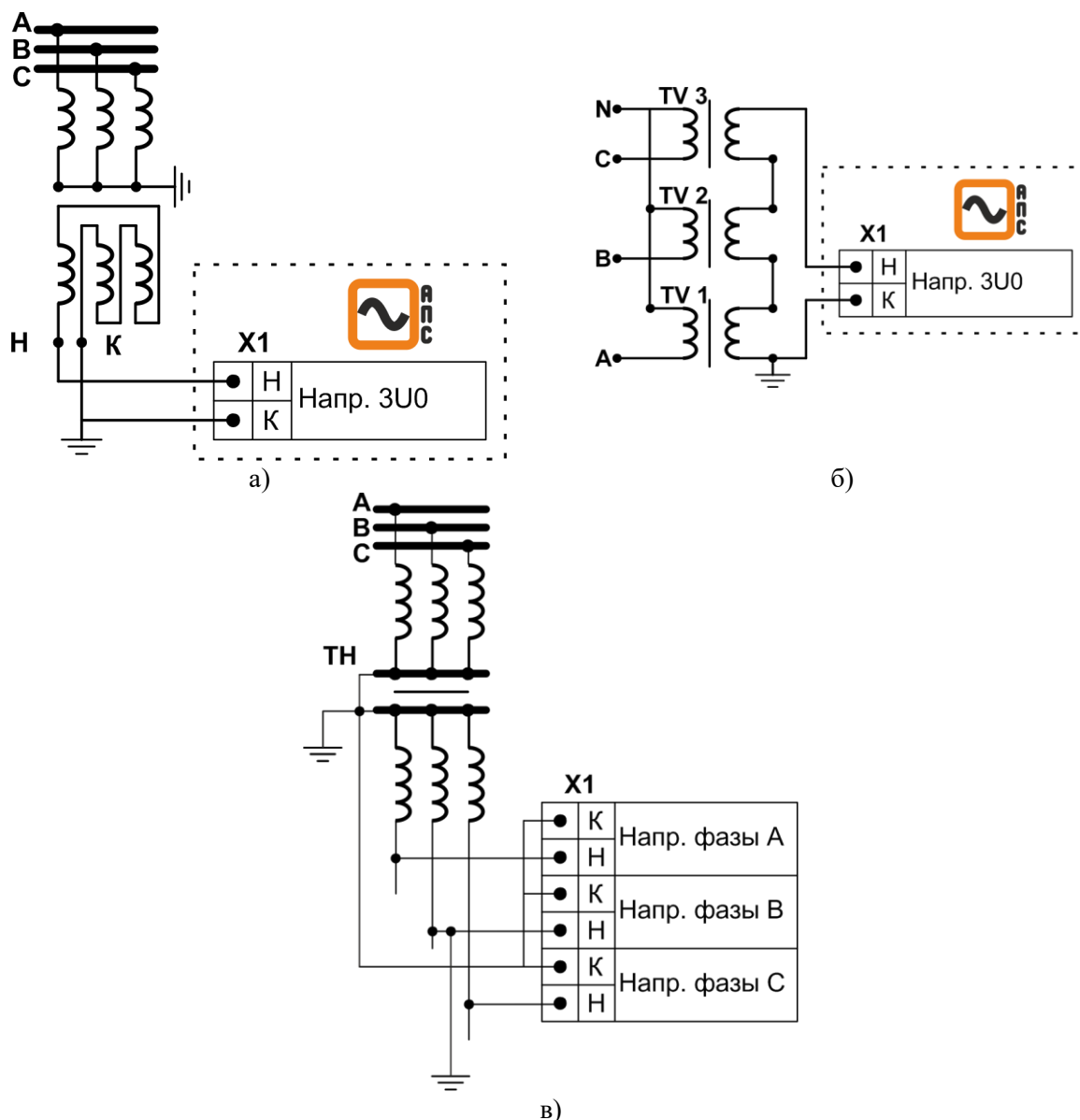


Рис. 3ОЗЗ. 2. Подключение МПУ «МИР» к трансформатору напряжения

а) подключение к обмотке ТН разомкнутый треугольник;

б) подключение к ФННП, $3I_0$ измеряется;

в) подключение к ФННП, $3I_0$ рассчитывается.

В МПУ «МИР» реализованы 3ОЗЗ, основанные на использовании токов и напряжений промышленной частоты:

- токовая ненаправленная защита (50N/51N);
- токовая направленная защита (67N);
- неселективная 3ОЗЗ по напряжению нулевой последовательности (59N).

Для токовой ненаправленной защиты возможно использование высших гармоник (ВГ) тока $3I_0$ в качестве информационного сигнала.

Расчет параметров срабатывания 3ОЗЗ осуществляется с учетом режима заземления нейтрали и особенностей условий эксплуатации энергообъекта.

Методика выбора параметров срабатывания ЗОЗЗ

В MIRAPS задаются следующие уставки токовой ненаправленной ЗОЗЗ, для каждой ступени [3, 6]:

- Тип сигнала;
- Тип ХВВ;
- Коэффициент возврата $K_{\text{ВОЗВР.}}$;
- Уставка по I_{H2} .
- Уставка по току $I_{\text{ЗОЗЗ}}$;
- Выдержка времени $t_{\text{ЗОЗЗ}}$.

В MIRAPS задаются следующие уставки токовой направленной ЗОЗЗ, для каждой ступени [3, 6]:

- Тип характеристики реле направления мощности;
- Тип ХВВ;
- Уставка по току $I_{\text{ЗОЗЗ}}$;
- Уставка по напряжению $U_{\text{ЗОЗЗ}}$;
- Выдержка времени $t_{\text{ЗОЗЗ}}$;
- Угол максимальной чувствительности $\phi_{\text{мч}}$;
- Направление;
- Время возврата $t_{\text{ВОЗВР.}}$.

Для применения в сетях с различным режимом заземления нейтрали используют следующие типы характеристик:

Тип 1: Измерение угла вектора $3I_0$ относительно вектора $3U_0$ с учетом угла максимальной чувствительности. Используется в сетях с резистивной, изолированной или компенсированной нейтралью.

Тип 2: Измерение угла вектора $3I_0$ относительно вектора $3U_0$ с учетом угла максимальной чувствительности. Используется в сетях с глухозаземленной нейтралью. В данных МРУ не рассматривается.

Тип 3: Измерение угла вектора $3I_0$ относительно вектора $3U_0$ с учетом нижних и верхних угловых пределов. Используется в сетях, в которых возможно изменения режима работы нейтрали.

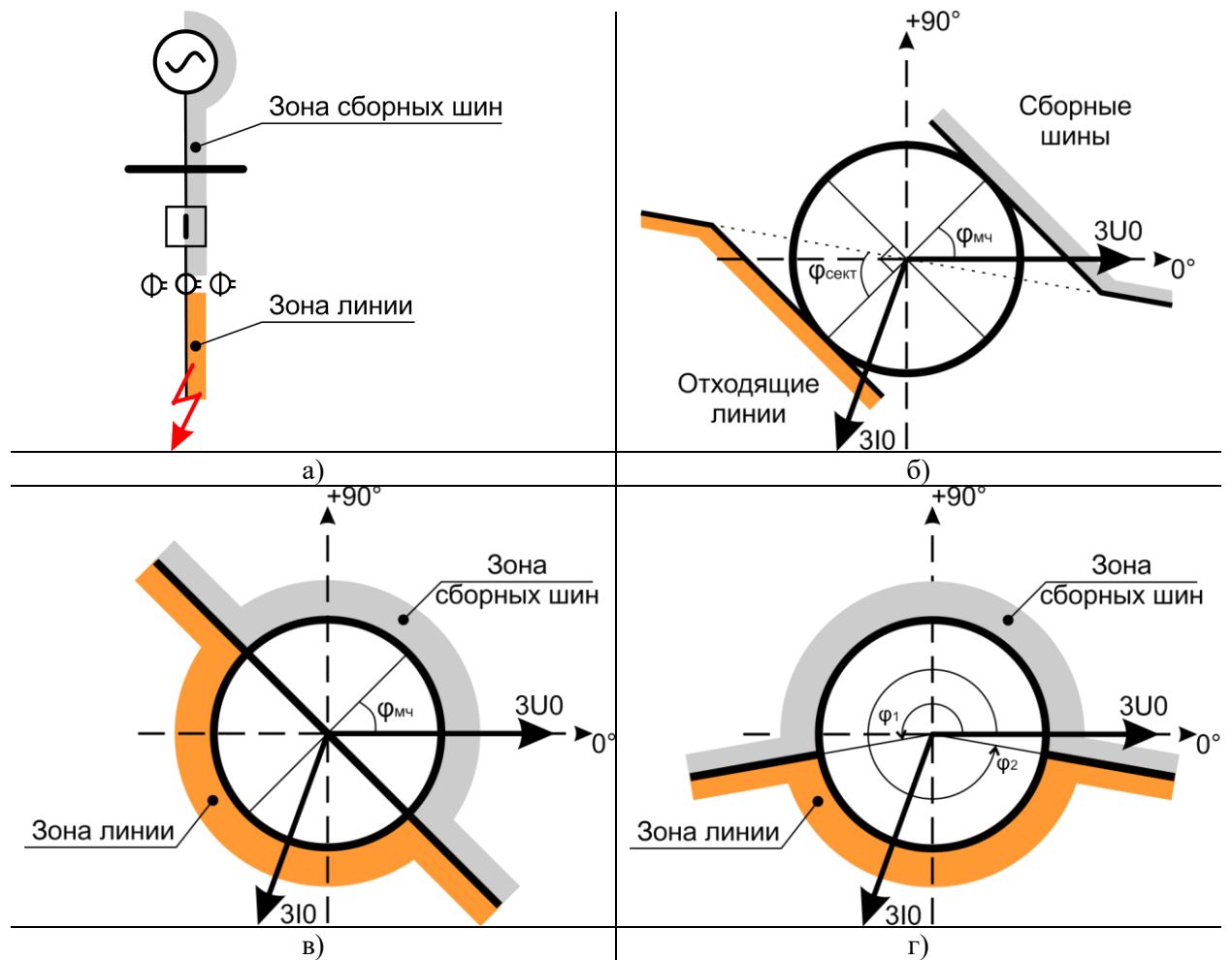


Рис. 3033. 3. Реле направление мощности нулевой последовательности: а) однолинейная схема защищаемого объекта, б) тип 1, в) тип 2, г) тип 3. ($\Phi_{\text{мч}}$ – угол максимальной чувствительности; Φ_1 – нижний угловой предел, Φ_2 – верхний угловой предел)

Рекомендуется проверить корректность работы реле направления мощности нулевой последовательности на основании расчета угла тока сети при ОЗЗ на поврежденном присоединении.

В MIRAPS задаются следующие уставки неселективной ЗОЗЗ по напряжению нулевой последовательности, для каждой ступени [3, 6]:

- Уставка по напряжению $U_{\text{ЗОЗЗ}}$;
- Выдержка времени $t_{\text{ЗОЗЗ}}$.

Таблица 3ОЗЗ. 1. Методика расчета параметров срабатывания ненаправленной 3ОЗЗ (по гармонике 50 Гц)

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип сигнала	Обеспечение алгоритма работы	310	Для защит с использованием тока промышленной частоты
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	–	–
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	Не вводится для 3ОЗЗ
$I_{\text{3ОЗЗ}}$	Отстройка от собственного емкостного тока нулевой последовательности защищаемого присоединения	$I_{\text{3ОЗЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{БР.}} \cdot I_{\text{С.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,2 \div 1,3$; $K_{\text{БР.}}$ – коэффициент броска, учитывающий увеличение действующего значения емкостного тока $I_{\text{С.}}$ при дуговых перемежающихся ОЗЗ. Принимается $K_{\text{БР.}} = 2$; $I_{\text{С.}}$ – собственный емкостный ток защищаемого присоединения.
	Отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{\text{3ОЗЗ}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot I_{\text{НБ.МАКС.}}$ При применении ФТНП: $I_{\text{НБ.МАКС.}} = \varepsilon \cdot I_{\text{КЗ.МАКС.}}$	$K_{\text{ОТС.}}$ – коэффициент отстройки. Принимается $K_{\text{ОТС.}} = 1,5 \div 2$; $I_{\text{НБ.МАКС.}}$ – максимальный ток небаланса в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ. При применении ТТНП ток $I_{\text{НБ.МАКС.}}$ измеряется в цепи вторичной обмотки. При отсутствии данных условие не учитывается. При применении ФТНП: ε – предельная погрешность ТТ. Принимается $\varepsilon = 0,1$. $I_{\text{КЗ.МАКС.}}$ – максимальный ток междуфазного КЗ, протекающий по ФТНП.
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{\text{3ОЗЗ}} \geq I_{\text{3ОЗЗ мин.}}$	$I_{\text{3ОЗЗ мин.}}$ – минимальный первичный ток срабатывания защиты. При подключении МПУ «МИР» к кабельному ТТНП рекомендованное значение минимального тока срабатывания во вторичных величинах принимается $I_{\text{3ОЗЗ мин.}} = 50 \text{ мА.}$

t_{3033}	Отстройка от 3033 смежных элементов	$t_{3033} \geq t_{3033.МАКС.} + \Delta t$	$t_{3033.МАКС.}$ – время срабатывания 3033 смежных (предыдущих) элементов; Δt – степень вы селективности. Принимается $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами и $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами. При использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения ($0,04 \div 0,05$ с) принимается $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с
	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{3033} \geq 0,1$ с	–

Таблица 3033. 2. Методика расчета параметров срабатывания ненаправленной 3033 на высших гармониках

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип сигнала	Обеспечение алгоритма работы	3I0 ВГ	Для защит с использованием высших гармоник тока
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
$K_{ВОЗВР.}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{ВОЗВР.} = 0,935$	–
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	Не вводится для 3033
$I_{3033 ВГ.}$	Отстройка от тока небаланса нормального режима	$I_{3033 ВГ} = 0,07 \cdot I_{3033}$	I_{3033} – уставка 3033 по основной гармонике, рассчитывается по табл. выше (Таблица 3033. 1)
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{3033 ВГ} \geq I_{3033.МИН.ВГ}$	$I_{3033.МИН.ВГ}$ – минимальный первичный ток срабатывания защиты. При подключении МПУ «МИР» к кабельному ТТНП рекомендованное значение минимального тока срабатывания во вторичных величинах принимается $I_{3033.МИН.ВГ} = 50$ мА.
	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение $t_{3033 ВГ} = 1 \div 2$ с	–

Таблица 3ОЗЗ. 3. Методика расчета параметров срабатывания направленной 3ОЗЗ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Тип характеристики реле направ. мощности	Согласно проекту	–	<p>Тип 1: для сетей с резистивной изолированной или компенсированной нейтралью.</p> <p>Тип 3: для сетей, в которых возможны изменения режима работы нейтрали.</p>
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–
I _{3ОЗЗ}	Отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{3ОЗЗ} \geq K_{отс.} \cdot I_{нб.макс.}$ <p>При применении ФТНП: $I_{нб.макс.} = \varepsilon \cdot I_{кз.макс.}$ </p>	<p>K_{отс.} – коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.}=1,5 \div 2$;</p> <p>I_{нб.макс.} – максимальный ток небаланса в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ.</p> <p>При применении ТТНП ток I_{нб.макс.} измеряется в цепи вторичной обмотки. При отсутствии данных условие не учитывается.</p> <p>При применении ФТНП: ε – предельная погрешность ТТ. Принимается $\varepsilon = 0,05$;</p> <p>I_{кз.макс.} – максимальный ток междуфазного КЗ, протекающий по ФТНП.</p>
	Обеспечение чувствительности к ОЗЗ	$I_{3ОЗЗ} \leq \frac{I_{0 \text{ повр.мин.}}}{K_{ч \text{ мин.доп}}}$	<p>I_{0 повр.мин.} – минимальный ток через защиту при внутреннем ОЗЗ;</p> <p>K_{ч.мин.доп.} – минимально допустимый коэффициент чувствительности. Принимается K_{ч.мин.доп.} = 1,25 для защит кабельных линий, K_{ч.мин.доп.} = 1,5 для воздушных линий.</p>
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{3ОЗЗ} \geq I_{3ОЗЗ \text{ мин.}}$	<p>I_{3ОЗЗ мин.} – минимальный первичный ток срабатывания защиты. При подключении МПУ «МИР» к кабельному ТТНП рекомендованное значение минимального тока срабатывания во вторичных величинах принимается I_{3ОЗЗ мин.} = 50 мА</p>
U _{3ОЗЗ}	Отстройка от напряжения небаланса в нормальном режиме	$U_{3ОЗЗ} = 15\% \cdot U_{ном}$	<p>U_{ном.} – номинальное напряжение ТН</p> <p><i>Уставка задается в процентах от U_{ном} ТН</i></p>

$\varphi_{мч}$	Обеспечение чувствительности к внутренним ОЗЗ	$\varphi_{мч} = \varphi_{мч.РЕКОМ.}$	<p>$\varphi_{мч.РЕКОМ}$ – рекомендуемое значение угла максимальной чувствительности. Принимается для сети с изолированной нейтралью $\varphi_{мч}=90^0$ (типа 2 или 3);</p> <p>для сети с нейтралью, заземленной через высокоомный резистор $\varphi_{мч}=45^0$ (для типа 2 или 3).</p> <p>Примечание: для типа 3 задается угол макс чувств ± 90. При необходимости зона может быть сужена (для исключения излишних / ложных срабатываний)</p>
t_{3033}	Отстройка от ЗОЗЗ смежных элементов	$t_{3033} \geq t_{3033 \text{ МАКС.}} + \Delta t$	<p>$t_{3033.МАКС}$ – время срабатывания ЗОЗЗ смежных (предыдущих) элементов;</p> <p>Δt – ступень вы селективности. Принимается $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами и $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами. При использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения ($0,04 \div 0,05$ с) принимается $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с</p>
	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{3033} \geq 0,1$ с	–
Направление	Обеспечение срабатывания при внутренних ОЗЗ и несрабатывания при внешних ОЗЗ	Линия	Для отходящих фидеров
$t_{ВОЗВР.}$	Обеспечение заданного времени возврата реле	Рекомендуемое значение $t_{ВОЗВР.} = 0$	–

Таблица ЗОЗЗ. 4. Методика расчета параметров срабатывания неселективной ЗОЗЗ по напряжению нулевой последовательности

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
U_{3033}	Отстройка от напряжения небаланса в нормальном режиме	Рекомендуемое значение $U_{3033} = 15\% U_{НОМ}$	<p>$U_{НОМ.}$ – номинальное напряжение ТН</p> <p>Уставка задается в процентах от $U_{НОМ} ТН$</p>
t_{3033}	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{3033} \geq 0,1$ с	–

Пример расчета параметров срабатывания защит от ОЗЗ

Расчет параметров срабатывания токовой защиты от ОЗЗ электродвигателя

Исходные данные для расчета и оценки ее чувствительности сведены в Таблицу 3ОЗЗ. 5.

Таблица 3ОЗЗ. 5. Исходные данные и оценка чувствительности

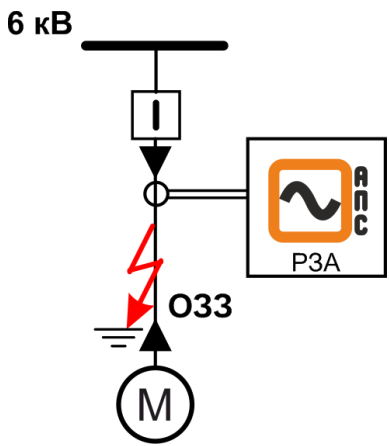
Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом двигателе:	Оценка чувствительности:
 <p>6 кВ</p> <p>ОЗЗ</p> <p>РЗА</p> <p>М</p>	<p>$U_{НОМ} = 6 \text{ кВ};$ $P_{НОМ} = 200 \text{ кВт};$</p> <p>Собственный емкостный ток присоединения: $I_c = 0,1 \text{ А};$ Измеренное значение максимального тока небаланса ТТНП: $30 \text{ мА};$</p> <p>Коэффициент трансформации ТТНП: 25;</p> <p>Минимальный ток через защиту при внутреннем ОЗЗ: $3I_0 = I_{0 \text{ ПОВР.МИН.}} = 4 \text{ А}.$</p>	<p>Оценка чувствительности 3ОЗЗ:</p> $K_{\text{ч}} = \frac{I_{0 \text{ ПОВР.МИН.}}}{I_{3\text{ОЗЗ}}} = \frac{4}{1,3} = 3;$ <p>$3 > 1,25.$</p>

Таблица 3ОЗЗ. 6. Расчет параметров срабатывания 3ОЗЗ двигателя

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–	0,935
$I_{\text{Н2}}$	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	–	Не вводится

I ₃₀₃₃	Отстройка от собственного емкостного тока нулевой последовательности защищаемого присоединения	$I_{3033} \geq K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{БР}} \cdot I_{\text{С}}$	$I_{3033} \geq 1,2 \cdot 2 \cdot 0,1 = 0,24$	1,3 А
	Отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{3033} \geq K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ.МАКС}}$	$I_{3033} \geq 2 \cdot 0,03 = 0,06$	
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{3033} \geq I_{3033 \text{ мин}}$	$I_{3033} \geq 25 \cdot 0,05 = 1,25$	
t ₃₀₃₃	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{3033} \geq 0,1 \text{ с}$	$t_{3033} = 0,1 \text{ с}$	0,1 с

Расчет параметров срабатывания токовой защиты от ОЗЗ трансформатора

Исходные данные для расчета и оценки ее чувствительности сведены в Таблицу 3033. 7.

Таблица 3033. 7. Исходные данные и оценка чувствительности

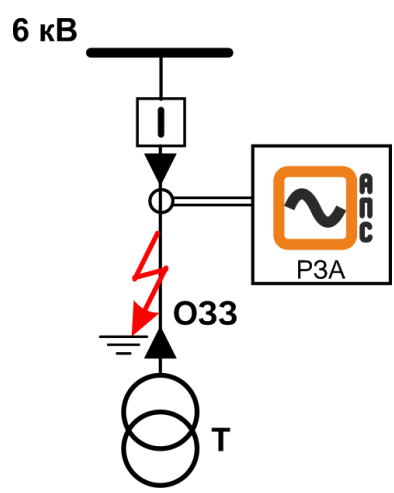
Исходные данные для расчета: схема сети	Токи КЗ и данные о защищаемом трансформаторе:	Оценка чувствительности:
	<p>U_{НОМ.} = 6 кВ; S_{НОМ.} = 400 кВА;</p> <p>Собственный емкостный ток присоединения: I_С=0,05 А</p> <p>Измеренное значение максимального тока небаланса ТТНП: нет данных</p> <p>Коэффициент трансформации ТТНП: 30</p> <p>Минимальный ток через защиту при внутреннем ОЗЗ: 3I₀= I_{0 ПОВР.МИН} = 3,9 А</p>	<p>Оценка чувствительности 3033:</p> $K_{\text{ч}} = \frac{I_{0 \text{ ПОВР.МИН.}}}{I_{3033}} = \frac{3,9}{1,5} = 2,6;$ <p>2,6 > 1,25.</p>

Таблица 3033. 8. Расчет параметров срабатывания 3033 трансформатора

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Тип ХВВ	Выбирается согласно проекту	Независимая ХВВ	–	Независимая
$K_{\text{ВОЗВР.}}$	Обеспечение возврата цифрового реле с заданной уставкой	Рекомендуемое значение $K_{\text{ВОЗВР.}} = 0,935$	–	0,935
I_{H2}	Обеспечение блокировки при превышении второй гармоники в результате БТН	–	–	Не вводится
I_{3033}	Отстройка от собственного емкостного тока нулевой последовательности защищаемого присоединения	$I_{\text{3033}} \geq K_{\text{ОТС.}} \cdot K_{\text{БР.}} \cdot I_{\text{С.}}$	$I_{\text{3033}} \geq 1,2 \cdot 2 \cdot 0,05 = 0,12$	1,5 А
	По техническим возможностям МПУ «МИР»	$I_{\text{3033}} \geq I_{\text{3033 мин.}}$	$I_{\text{3033}} \geq 30 \cdot 0,05 = 1,5$	
t_{3033}	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{\text{3033}} \geq 0,1 \text{ с}$	$t_{\text{3033}} = 0,1 \text{ с}$	0,1 с

Расчет параметров срабатывания неселективной защиты от ОЗЗ по $3U_0$

Исходные данные для расчета сведены в Таблицу 3033. 9.

Таблица 3033. 9. Расчет параметров срабатывания неселективной 3033 по $3U_0$

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
U_{3033}	Отстройка от напряжения небаланса в нормальном режиме	$U_{\text{3033}} = 15\% \cdot U_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{3033}} = 15\% \cdot U_{\text{НОМ}}$	15%
t_{3033}	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{\text{3033}} \geq 0,1 \text{ с}$	$t_{\text{3033}} = 9$	9 с

Таблица 3033. 10. Карта уставок для 50N/51N: Максимальная токовая защита нулевой последовательности для ЭД

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Измерение I ₀	Вход I ₀	Вход I ₀	Вход I ₀	Сумма 3I/Вход I ₀
Тип сигнала	3I ₀	3I ₀	3I ₀	3I ₀ /3I ₀ ВГ
Вкл. Блок. по I _{H2}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	0			От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая			1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	1,3 А			От 0,1I _{ном} до 25I _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0,1 с			От 0 до 100 с, шаг 1 мс
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935			От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0			От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица 3033. 11. Карта уставок для 50N/51N: Максимальная токовая защита нулевой последовательности для трансформатора

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Измерение I ₀	Вход I ₀	Вход I ₀	Вход I ₀	Сумма 3I/Вход I ₀
Тип сигнала	3I ₀	3I ₀	3I ₀	3I ₀ /3I ₀ ВГ
Вкл. Блок. по I _{H2}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по I _{H2}	0			От 0 до 30%, шаг 1%
Кривая срабатывания защиты	1. Независимая			1 – 14 (согласно РУ)
Уставка по току	1,5 А			От 0,1I _{ном} до 25I _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0,1 с			От 0 до 100 с, шаг 1 мс

Параметр	Значения параметров для групп А и В			Диапазон
	1 степень	2 степень	3 степень	
К _{возвр.} (Коэффициент возврата)	0,935			От 0,8 до 1, шаг 0,001
Время возврата	0			От 0 до 10 с, шаг 1 мс

Таблица 3033. 12. Карта уставок для 59N: Защита от повышения напряжения нулевой последовательности

Параметр	Значения параметров для групп А и В		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ		ТН на СШ/ТН на КЛ
Уставка по 3U0	15 %		От 2 % U _{ном} до 200 % U _{ном} , шаг 1 %
Выдержка времени	9 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАТЯНУТОГО ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ

Методика расчета защиты от затянутого пуска двигателя (ЗЗПД)

Защита от затянутого пуска. Общие сведения

Применяется с целью защиты двигателя от перегрева (перегрузки), вызванного его затянутым пуском.

Принцип действия защиты состоит в сравнении максимального из фазных токов с уставкой защиты. При этом учитывается, сколько времени прошло с момента возрастания тока от нуля до $0,1 I_{\text{НАГР}}$ – это время принимается за время пуска двигателя. За $I_{\text{НАГР}}$ принимается номинальный ток двигателя. **Пуск защиты** происходит при возрастании тока от $0,1 I_{\text{НАГР}}$ до $1,5 I_{\text{НАГР}}$ за время, менее 100 мс. Возврат защиты происходит при значении тока ниже $1,25 I_{\text{НАГР}}$. **Срабатывание защиты** активируется при наличии сигнала пуска защиты в течение времени, превышающего уставку срабатывания ($T_{\text{уст}}$).

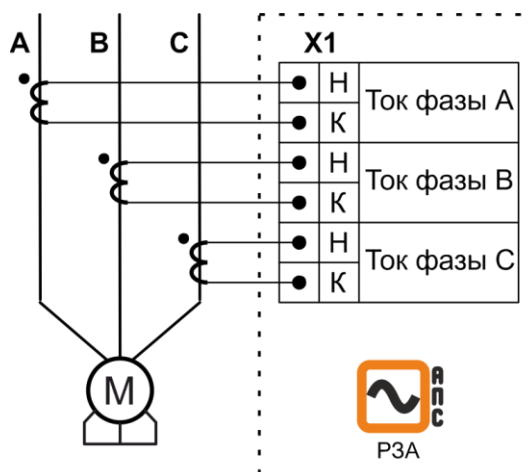


Рис. ЗЗПД. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформаторам тока

Методика выбора параметров срабатывания защиты от затянутого пуска

В MIRAPS задаются следующие уставки защиты от затянутого пуска:

- Номинальный ток нагрузки $I_{\text{НАГР}}$;
- Выдержка времени зянутого пуска $t_{\text{з.пуск}}$;

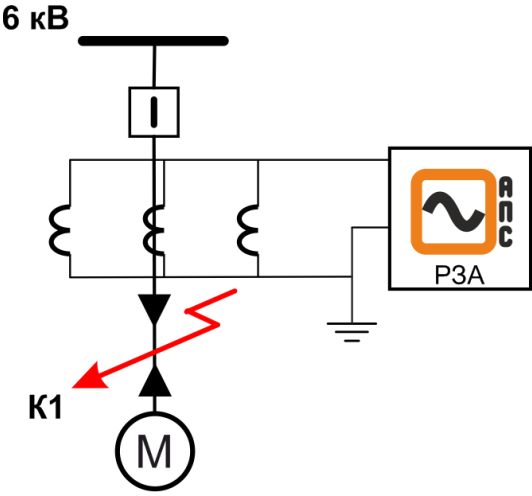
Таблица ЗЗПД. 1. Методика расчета параметров срабатывания защиты от зтянутого пуска

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
$I_{\text{НАГР}}$	Задание номинального тока двигателя	$I_{\text{НАГР}} = I_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток ЭД.
$t_{\text{з.пуск}}$	Задание времени зтянутого пуска ЭД	$t_{\text{з.пуск}} = (1,5 \div 2,0) \cdot t_{\text{п.}}$	$t_{\text{п.}}$ – время пуска ЭД.

Пример расчета параметров срабатывания защиты от затянутого пуска

Исходные данные для расчета сведены в таблицу ЗЗПД. 2.

Таблица ЗЗПД. 2. Исходные данные

Исходные данные для расчета: схема сети	Данные об электроустановке:
	$U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ};$ $I_{НОМ.} = 28,4 \text{ А};$ $t_{ПУСК.} = 5 \text{ с};$

Расчет параметров срабатывания ЗЗПД

Таблица ЗЗПД. 3. Расчет параметров срабатывания ЗЗПД

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$I_{НАГР.}$	Задание номинального тока двигателя	$I_{НАГР.} = I_{НОМ.}$	$I_{НАГР.} = 28,4$	30 А
$t_{з.ПУСК.}$	Задание времени затянутого пуска ЭД	$t_{з.ПУСК.} = (1,5 \div 2,0) \cdot t_{П.}$	$t_{з.ПУСК.} = 1,75 \cdot 5 = 8,75$	8,8 с

Таблица ЗЗПД. 4. Карта уставок для 48: Защита от затянутого пуска (ЗЗПД)

Параметр	Значения параметров	Диапазон
	1 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Номинальный ток нагрузки	30 А	От 0,1 $I_{ном}$ до 25 $I_{ном}$ А, шаг 1 А
Выдержка времени	8,8 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Методика расчета защиты минимального напряжения (ЗМН)

Защита минимального напряжения. Общие сведения

ЗМН применяется с целью контроля отсутствия напряжения. Защита выполняется в трехфазном исполнении и имеет 3 ступени. На объекте может выполняться индивидуальной или групповой.

Основное назначение – ЗМН вводного выключателя (пуск АВР) и ЗМН двигателя. Подключение МПУ «МИР» к измерительному ТН производится согласно РУ.

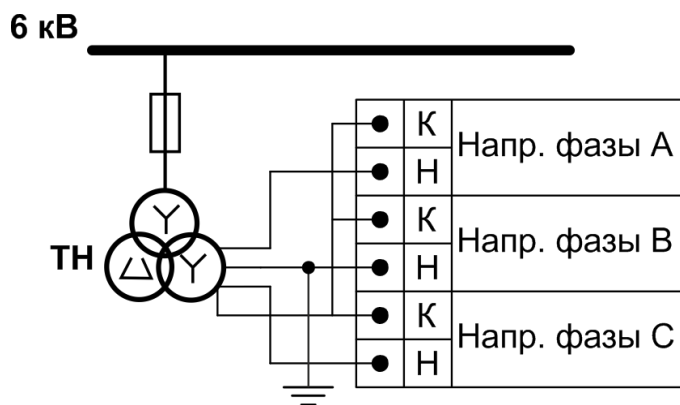


Рис. ЗМН. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформатору напряжения

Принцип действия ЗМН основан на сравнении действующих значений первых гармоник фазных или линейных напряжений с заданной уставкой.

Методика выбора параметров срабатывания ЗМН

В MIRAPS задаются следующие уставки ЗМН, для каждой ступени [3]:

- Режим напряжения;
- Уставка по напряжению $U_{ЗМН}$;
- Выдержка времени $t_{ЗМН}$.

Таблица ЗМН. 1. Методика расчета параметров срабатывания ЗМН (пуск АВР)

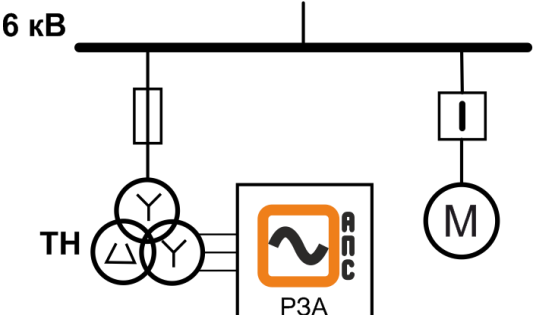
Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Режим напряжения	Выбор фазного или линейного напряжения для ЗМН	Выбирается согласно проекту	–
U _{ЗМН}	Отстройка от снижения напряжения в случае внешнего КЗ на питающей стороне и на отходящих присоединениях	$U_{ЗМН} \leq \frac{U_{\text{ост.кз.}}}{K_{\text{отс.}}}$	U _{ост.кз.} – наименьшее расчетное значение остаточного напряжения при КЗ; K _{отс} – коэффициент отстройки; принимается K _{отс} =1,2. <i>Уставка задается в процентах от U_{ном} ТН</i>
	Отстройка от пускового тока электродвигателя	$U_{ЗМН} \leq \frac{U_{\text{сам.}}}{K_{\text{отс.}}}$	U _{ост.кз.} – наименьшее расчетное напряжение при самозапуске электродвигателей; K _{отс} – коэффициент отстройки; принимается K _{отс} = 1,2. <i>Уставка задается в процентах от U_{ном} ТН</i>
	Обеспечение срабатывания при снижении напряжения	Рекомендуемое значение $U_{ЗМН} = (25 \div 40\%) U_{\text{ном}}$	U _{ном} – номинальное напряжение ТН
t _{ЗМН}	Отстройка от времени срабатывания защит элементов, при КЗ в зоне действия которых напряжение на резервируемых шинах снижается до напряжения срабатывания ЗМН	$t_{ЗМН} \geq t_{\text{сз.}} + \Delta t.$	t _{сз.} – времени срабатывания защит элементов (на питающей стороне или на отходящих присоединениях), при КЗ в зоне действия которых напряжение на резервируемых шинах снижается до напряжения срабатывания ЗМН Δt – ступень селективности. Принимается: Δt = 0,3 при согласовании с МП защитами и Δt = 0,5 при согласовании с электромеханическими защитами. При использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения (0,04 ÷ 0,05 с) принимается Δt = 0,15 ÷ 0,2 с
	Согласование другими устройствами противоаварийной автоматики узла (АПВ, АВР, ДА)	$t_{ЗМН} \geq t_{\text{авт.}} + t_{\text{зап.}}$	t _{авт.} – время действия данных видов автоматики при ликвидации аварии; t _{зап.} – время запаса. Принимается t _{зап.} = 2,5 ÷ 3,5 с в зависимости от типов выключателей и устройств автоматики.

Таблица 3МН. 2. Методика расчета параметров срабатывания 3МН двигателя

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Режим напряжения	Выбор фазного или линейного напряжения для 3МН	Выбирается согласно проекту	–
$U_{3МН}^{(1)}$	Облегчение процесса самозапуска, отключение ЭД менее ответственных механизмов	Рекомендуемое значение $U_{3МН} = 70\% U_{НОМ}$	$U_{НОМ}$. – номинальное напряжение ТН
$t_{3МН}^{(1)}$	Отстройка от времени срабатывания быстродействующих защит от многофазных КЗ	$t_{3МН} \geq t_{СЗ.БЫСТР.} + \Delta t$	$t_{СЗ.БЫСТР.}$ – времени срабатывания быстродействующих защит. Δt – ступень селективности. Принимается: $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами и $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами. При использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения ($0,04 \div 0,05$ с) принимается $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с
	Отстройка от времени срабатывания быстродействующих защит присоединений	Рекомендуемое значение $t_{3МН} = (0,5 \div 1,5 \text{ с})$	$t_{АВТ.}$ – время действия данных видов автоматики при ликвидации аварии; $t_{ЗАП.}$ – время запаса. Принимается $t_{ЗАП.} = 2,5 \div 3,5$ с в зависимости от типов выключателей и устройств автоматики.
$U_{3МН}^{(II)}$	Обеспечение возврата защиты при самозапуске ЭД	Рекомендуемое значение $U_{3МН} = (40 \div 50\%) U_{НОМ}$	$U_{НОМ}$. – номинальное напряжение ТН.
$t_{3МН}^{(II)}$	Отстройка от кратковременных просадок напряжений	Рекомендуемое значение $t_{3МН} = (5 \div 10 \text{ с})$	–

Пример расчета параметров срабатывания защиты минимального напряжения

Таблица ЗМН. 3. Исходные данные

Исходные данные для расчета: схема сети	Данные о защищаемом двигателе:
<p>6 кВ</p> 	<p>$U_{ном.} = 6 \text{ кВ};$ $P_{ном.} = 200 \text{ кВт.}$</p> <p>Установлена индивидуальная ЗМН.</p>

Расчет параметров срабатывания ЗМН электродвигателя

Таблица ЗМН. 4. Расчет параметров срабатывания ЗМН двигателя

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Режим напряжения	Выбор фазного или линейного напряжения для ЗМН	Линейное	—	Линейное
$U_{ЗМН}^{(1)}$	Облегчение процесса самозапуска, отключение ЭД менее ответственных механизмов	Рекомендуемое значение $U_{ЗМН} = 70\% U_{ном}$	$U_{ЗМН} = 70\% U_{ном}$	70 %
$t_{ЗМН}^{(1)}$	Отстройка от времени срабатывания быстродействующих защит от многофазных КЗ	$t_{ЗМН} \geq t_{сз.быстр.} + \Delta t$	$t_{ЗМН} = 1 \text{ с}$	1 с
	Отстройка от времени срабатывания быстродействующих защит присоединений	Рекомендуемое значение $t_{ЗМН} = (0,5 \div 1,5 \text{ с})$		

Таблица ЗМН. 5. Карта уставок для 27/27S: Защита минимального напряжения (ЗМН)

Параметр	Значения параметров			Диапазон
	1 ступень	2 ступень	3 ступень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>			Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ			ТН на СШ/ТН на КЛ
Режим напряжения	Линейное			Фазное /Линейное
Уставка по напряжению	70 %			От 5 %Uном до 100 %Uном, шаг 1 %
Выдержка времени	1 с			От 0 до 100 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

Методика расчета защиты максимальной частоты (ЗМЧ)

Защита максимальной частоты. Общие сведения

ЗМЧ предназначена для защиты электрической машины от недопустимого превышения частоты вращения. Частота рассчитывается на основании измеренного напряжения. Подключение МПУ «МИР» к измерительному ТН для измерения напряжения производится согласно РУ.

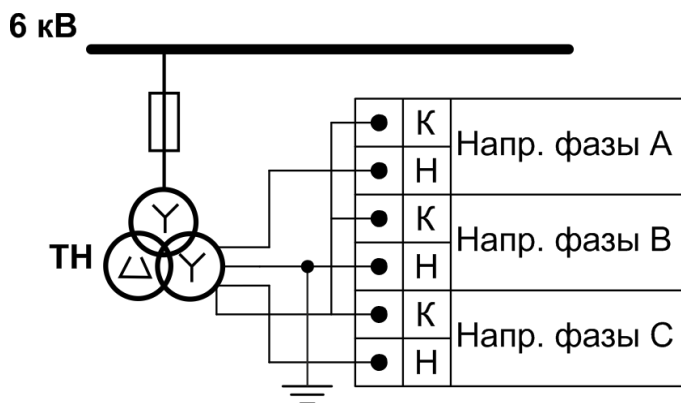


Рис. ЗМЧ. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформатору напряжения

Принцип действия ЗМЧ основан на сравнении расчетного значения частоты с заданной уставкой. Срабатывание защиты блокируется, если напряжение, по которому вычисляется частота, ниже уставки $U_{ЗМЧ}$.

Методика выбора параметров срабатывания ЗМЧ

В MIRAPS задаются следующие уставки ЗМЧ, для каждой из 4 ступеней [3]:

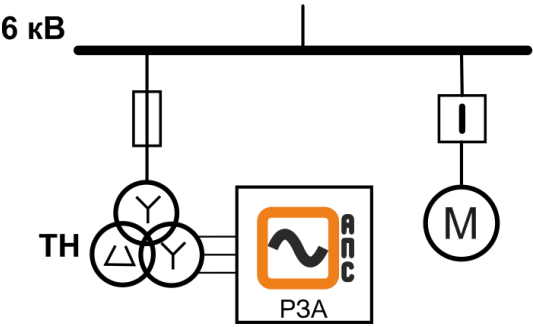
- Уставка по частоте $f_{ЗМЧ}$;
- Выдержка времени $t_{ЗМЧ}$;
- Минимальное напряжение $U_{ЗМЧ}$.

Таблица ЗМЧ. 1. Методика расчета параметров срабатывания ЗМЧ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
$f_{ЗМЧ}$	Срабатывание при недопустимом повышении частоты	Рекомендуемое значение $f_{ЗМЧ} = 45 \div 50$ Гц	Выставляется с учетом технологического процесса и применяемого ЭД
$t_{ЗМЧ}$	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{ЗМЧ} \geq 0,1$ с	Выставляется с учетом технологического процесса и применяемого ЭД
$U_{ЗМЧ}$	Обеспечение блокировки алгоритма при недопустимых снижениях напряжения	Рекомендуемое значение $U_{ЗМЧ} = (20 \div 50\%) U_{НОМ}$	$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение ТН Задается в % от номинального напряжения ТН

Пример расчета параметров срабатывания защиты максимальной частоты

Таблица ЗМЧ. 2. Исходные данные

Исходные данные для расчета: схема сети	Данные об электроустановке:
<p>6 кВ</p> 	<p>$U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ};$ $f_{НОМ.} = 50 \text{ Гц}.$</p>

Расчет параметров срабатывания ЗМЧ

Таблица ЗМЧ. 3. Расчет параметров срабатывания ЗМЧ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$f_{ЗМЧ}$	Срабатывание при недопустимом повышении частоты	Рекомендуемое значение $f_{ЗМЧ} = 50 \div 55 \text{ Гц}$	$f_{ЗМЧ} = 51 \text{ Гц}$	51 Гц
$t_{ЗМЧ}$	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{ЗМЧ} \geq 0,1 \text{ с}$	$t_{ЗМЧ} = 1 \text{ с}$	1 с
$U_{ЗМЧ}$	Обеспечение блокировки алгоритма при недопустимых снижениях напряжения	Рекомендуемое значение $U_{ЗМЧ} = (20 \div 50\%) U_{НОМ}$	$U_{ЗМЧ} = 35\% U_{НОМ}$	35 %

Таблица ЗМЧ. 4. Карта уставок для 81Н: Защита максимальной частоты (ЗМЧ)

Параметр	Значения параметров		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ		ТН на СШ/ТН на КЛ
Уставка по частоте	51 Гц		От 50 Гц до 55 Гц, шаг 0,01 Гц
Выдержка времени	1 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Минимальное напряжение	35 %		От 20 %Uном до 90 %Uном, шаг 1 %

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

Методика расчета защиты минимальной частоты (АЧР)

Защита минимальной частоты. Общие сведения

Защита минимальной частоты (автоматическая частотная разгрузка, АЧР) предназначена для защиты электрической сети от недопустимого снижения частоты. Частота рассчитывается на основании измеренного напряжения. Подключение МПУ «МИР» к измерительному ТН для измерения напряжения производится согласно РУ.

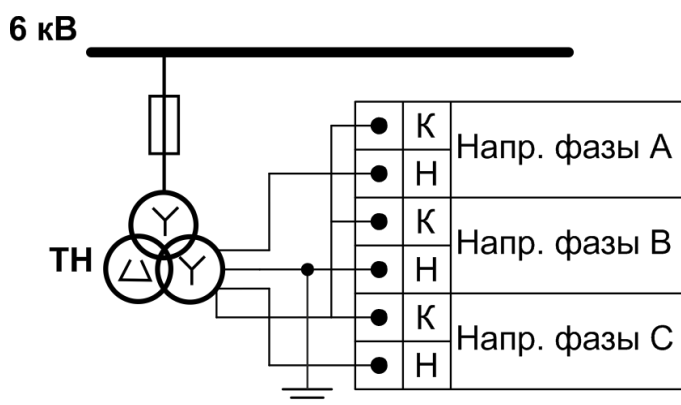


Рис. АЧР. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформатору напряжения

Принцип действия АЧР основан на сравнении расчетного значения частоты с заданной уставкой. Срабатывание защиты блокируется, если напряжение, по которому вычисляется частота, ниже уставки $U_{\text{АЧР}}$. При кратковременных скачках частоты предусмотрена блокировка защиты по скорости изменения частоты, уставка df/dt .

Методика выбора параметров срабатывания АЧР

В MIRAPS задаются следующие уставки АЧР, для каждой из 4 ступеней [3]:

- Уставка по частоте $f_{\text{АЧР}}$;
- Выдержка времени $t_{\text{АЧР}}$;
- Минимальное напряжение $U_{\text{АЧР}}$;
- Уставка по df/dt .

Таблица АЧР. 1. Методика расчета параметров срабатывания АЧР

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
$f_{\text{АЧР}}^{(I)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $f_{\text{АЧР}}^{(I)} = 48,6 \div 48,8$ Гц	—
$t_{\text{АЧР}}^{(I)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $t_{\text{АЧР}}^{(I)} = 0,15 \div 0,4$ с	—
$f_{\text{АЧР}}^{(II)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $f_{\text{АЧР}}^{(II)} = 48,7 \div 49,1$ Гц	—

$t_{\text{АЧР}}^{(II)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $t_{\text{АЧР}}^{(II)} = 5 \div 70 \text{ с}$	—
$U_{\text{АЧР}}$	Обеспечение блокировки алгоритма при Недопустимых снижениях напряжения	Рекомендуемое значение $U_{\text{АЧР}} = (20 \div 50\%) U_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$ — номинальное напряжение ТН <i>Задается в % от номинального напряжения ТН</i>
df/dt	Обеспечение блокировки алгоритма при Кратковременных скачках частоты	Рекомендуемое значение $df/dt = 1 \div 15 \text{ Гц/с}$	—

Пример расчета параметров срабатывания защиты минимальной частоты

Расчет параметров срабатывания АЧР

Таблица АЧР. 2. Исходные данные

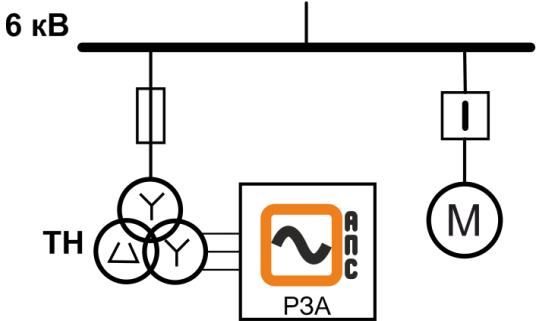
Исходные данные для расчета: схема сети	Данные об электроустановке:
	$U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ};$ $f_{НОМ.} = 50 \text{ Гц}.$

Таблица АЧР. 3. Расчет параметров срабатывания АЧР

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$f_{АЧР(I)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $f_{АЧР(I)} = 48,6 \div 48,8 \text{ Гц}$	$f_{АЧР(I)} = 48,7 \text{ Гц}$	48,7 Гц
$t_{АЧР(I)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $t_{АЧР(I)} = 0,15 \div 0,4 \text{ с}$	$t_{АЧР(I)} = 0,3 \text{ с}$	0,3 с
$f_{АЧР(II)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $f_{АЧР(II)} = 48,7 \div 49,1 \text{ Гц}$	$f_{АЧР(II)} = 48,9 \text{ Гц}$	48,9 Гц
$t_{АЧР(II)}$	Обеспечение нормальной работы двигателей при снижении частоты	Рекомендуемое значение $t_{АЧР(II)} = 5 \div 70 \text{ с}$	$t_{АЧР(II)} = 15 \text{ с}$	15 с
$U_{АЧР}$	Обеспечение блокировки алгоритма при недопустимых снижениях напряжения	Рекомендуемое значение $U_{АЧР} = (20 \div 50\%)U_{НОМ}$	$U_{АЧР} = 35\% U_{НОМ}$	35 %
df/dt	Обеспечение блокировки алгоритма при кратковременных скачках частоты	Рекомендуемое значение $df/dt = 1 \div 15 \text{ Гц/с}$	$df/dt = 5 \text{ Гц/с}$	5 Гц/с

Таблица АЧР. 4. Карта уставок для 81L: Защита минимальной частоты (АЧР)

Параметр	Значения параметров		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ	ТН на СШ	ТН на СШ/ТН на КЛ
Уставка по частоте	48,7 Гц	48,9 Гц	От 50 Гц до 55 Гц, шаг 0,01 Гц
Выдержка времени	0,3 с	15 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс
Минимальное напряжение	35 %	35 %	От 20 %Uном до 90 %Uном, шаг 1 %
Блокировка по df/dt	5 Гц/с	5 Гц/с	От 1 Гц/с до 15 Гц/с, шаг 1 Гц/с

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Методика расчета защиты от повышения напряжения (ЗПН)

Защита от повышения напряжения. Общие сведения

ЗПН предназначена для защиты от недопустимого повышения напряжения или для осуществления проверки наличия напряжения. Подключение МПУ «МИР» к измерительному ТН для измерения напряжения производится согласно РУ.

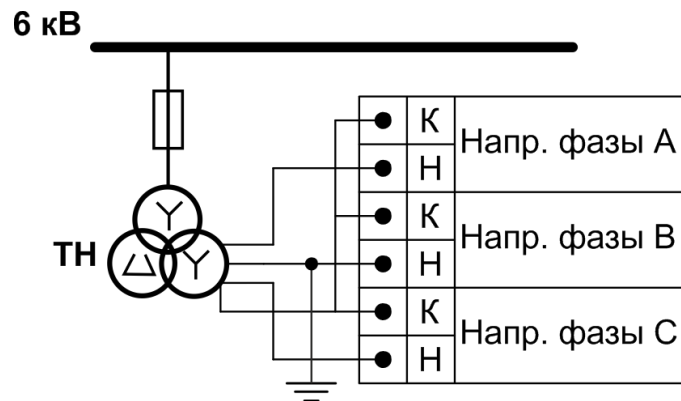


Рис. ЗПН. 1. Подключение МПУ «МИР» к трансформатору напряжения

Принцип действия ЗПН основан на сравнении действующих значений первых гармоник фазных или линейных напряжений с заданной уставкой.

Методика выбора параметров срабатывания ЗПН

В MIRAPS задаются следующие уставки ЗПН, для каждой из 2 ступеней [3]:

- Режим напряжения;
- Уставка по напряжению $U_{зпн}$;
- Выдержка времени $t_{зпн}$.

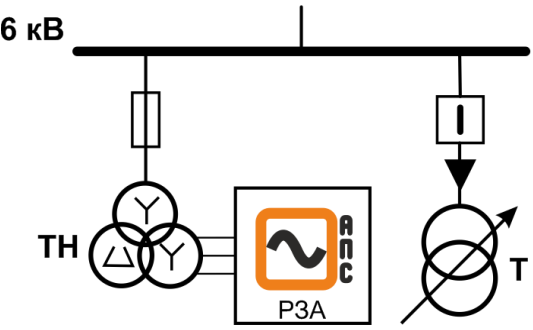
Таблица ЗПН. 1. Методика расчета параметров срабатывания ЗПН

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
Режим напряжения	Выбор фазного или линейного напряжения для ЗМН	Выбирается согласно проекту	–
$U_{зпн}$	Отстройка от максимального напряжения на шинах в рабочем режиме	Рекомендуемое значение $U_{зпн} = (110 \div 120\%) \cdot U_{ном.}$	$U_{ном}$ – номинальное напряжение ТН
$t_{зпн}$	Отстройка от времени срабатывания устройства автоматической регулировки привода и времени переключения привода РПН	$t_{зпн} \geq t_{АРП.} + t_{ПРИВОД.} + \Delta t$	Применяется для трансформаторов с РПН: $t_{АРП.}$ – времени срабатывания устройства автоматической регулировки привода; $t_{ПРИВОД.}$ – время переключения привода РПН; Δt – ступень селективности. Принимается $\Delta t = 0,3$ при согласовании с МП защитами; $\Delta t = 0,5$ при согласовании с электромеханическими защитами; $\Delta t = 0,15 \div 0,2$ с при использовании быстродействующих выключателей с полным временем отключения $0,04 \div 0,05$ с
	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{зпн} \geq 0,1$ с	–

Пример расчета параметров срабатывания защиты от повышения напряжения

АПДЛ.65030 МРУ Редакция от 24.03.2023

Таблица ЗПН. 2. Исходные данные

Исходные данные для расчета: схема сети	Данные об электроустановке:
	<p> $U_{НОМ.} = 6 \text{ кВ}$ $t_{АРП.} = 0,5 \text{ с}$ $t_{ПРИВОД.} = 1 \text{ с}$ </p>

Расчет параметров срабатывания ЗПН

Таблица ЗПН. 3. Расчет параметров срабатывания ЗПН

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
Режим напряжения	Выбор фазного или линейного напряжения для ЗМН	Линейное	–	Линейное
$U_{ЗПН}$	Отстройка от максимального напряжения на шинах в рабочем режиме	Рекомендуемое значение $U_{ЗПН} = (110 \div 120\%) \cdot U_{НОМ.}$	$U_{ЗПН} = 115\% \cdot U_{НОМ.}$	115 %
$t_{ЗПН}$	Отстройка от времени срабатывания устройства автоматической регулировки привода и времени переключения привода РПН	$t_{ЗПН} \geq t_{АРП.} + t_{ПРИВОД.} + \Delta t$	$t_{ЗПН} \geq 0,5 + 1 + 0,3 = 1,8$	2 с
	Отстройка от длительности переходных процессов	$t_{ЗПН} \geq 0,1 \text{ с}$		



Таблица ЗПН. 4. Карта уставок для 59: Защита от повышения напряжения (ЗПВ)

Параметр	Значения параметров		Диапазон
	1 степень	2 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>		Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Откл. по авар.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выбор ТН	ТН на СШ		ТН на СШ/ТН на КЛ
Режим напряжения	Линейное		Фазное /Линейное
Уставка по напряжению	115 %		От 50 %Uном до 150 %Uном, шаг 1 %
Выдержка времени	2 с		От 0 до 100 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА УСТРОЙСТВА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Методика расчета устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ)

УРОВ. Общие сведения

УРОВ осуществляет отключение выключателя, через который осуществляется подпитка поврежденного элемента при отказе работы собственного выключателя. УРОВ осуществляет контроль тока по значениям первой гармоники фазных токов.

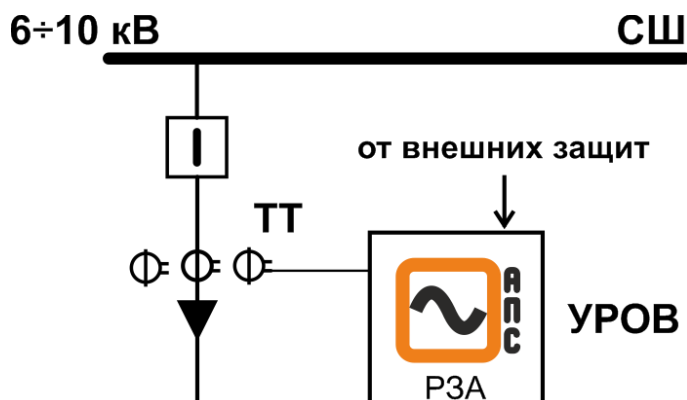


Рис. УРОВ. 1. Подключение МПУ «МИР»

Методика выбора параметров срабатывания УРОВ

В MIRAPS задаются следующие уставки УРОВ [3]:

- Уставка по току $I_{\text{УРОВ}}$;
- Выдержка времени $t_{\text{УРОВ}}$.

Таблица УРОВ 1. Методика расчета параметров срабатывания УРОВ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
$I_{\text{УРОВ}}$	Обеспечение чувствительности УРОВ	$I_{\text{УРОВ}} \leq \frac{I_{\text{МИН}}}{K_{\text{Ч}}}$ <p>Рекомендуемое значение</p> $I_{\text{УРОВ}} = (0,05 \div 0,1) \cdot I_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{МИН}}$ – минимальный ток защищаемого объекта в аварийном режиме; $K_{\text{Ч}}$ – требуемый коэффициент чувствительности; $I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток защищаемого присоединения.
$t_{\text{УРОВ}}$	Отстройка от времени срабатывания защиты на отключение	$t_{\text{УРОВ}} \geq t_{\text{ОТКЛ.ВЫКЛ.}} + t_{\text{ВОЗВР.РЗ}} + t_{\text{ОШ.РВ.}} + t_{\text{ЗАП.}}$ <p>Рекомендуемое значение</p> $t_{\text{УРОВ}} = 0,2 \div 0,3 \text{ с}$	$t_{\text{ОТКЛ.ВЫКЛ.}}$ – время отключения выключателя; $t_{\text{ВОЗВР.РЗ}}$ – время, необходимое для возврата РЗ, пускающей УРОВ; $t_{\text{ОШ.РВ.}}$ – время ошибки реле времени УРОВ в сторону ускорения действия; $t_{\text{ЗАП.}}$ – запас по времени. Принимается $t_{\text{ЗАП.}} = 0,1 \text{ с}$.

Пример расчета параметров срабатывания УРОВ

Расчет параметров срабатывания УРОВ

Таблица УРОВ. 2. Исходные данные

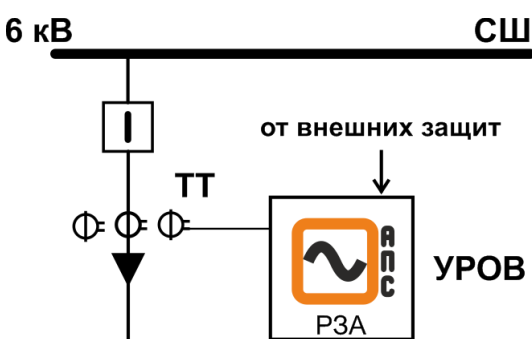
Исходные данные для расчета: схема сети	Данные об электроустановке:
 <p>6 кВ</p> <p>СШ</p> <p>от внешних защит</p> <p>ТТ</p> <p>УРОВ</p> <p>РЗА</p>	<p>$U_{НОМ} = 6 \text{ кВ};$ $I_{НОМ. ТТ} = 300 \text{ А}.$</p>

Таблица УРОВ. 3. Расчет параметров срабатывания УРОВ

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$I_{УРОВ}$	Обеспечение чувствительности УРОВ	$I_{УРОВ} \leq \frac{I_{МИН}}{K_{\text{ч}}}$ <p>Рекомендуемое значение</p> $I_{УРОВ} = (0,05 \div 0,1) \cdot I_{НОМ}$	$I_{УРОВ} = 0,1 \cdot 300$ $= 30$	30 А
$t_{УРОВ}$	Отстройка от времени срабатывания защиты на отключение	$t_{УРОВ} \geq t_{\text{ОТКЛ.ВЫКЛ.}} + t_{\text{ВОЗВР.РЗ}} + t_{\text{ОШ.РВ.}} + t_{\text{ЗАП.}}$ <p>Рекомендуемое значение</p> $t_{УРОВ} = 0,2 \div 0,3 \text{ с}$	$t_{УРОВ} = 0,2$	0,2 с

Таблица УРОВ. 4. Карта уставок для 50BF: Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ)

Параметр	Значения параметров	Диапазон
	1 степень	
Активация защиты	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Вкл.	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
С удержанием	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
Уставка по току	30 А	От 0,01I _{ном} до I _{ном} А, шаг 1 А
Выдержка времени	0,2 с	От 0 до 100 с, шаг 1 мс

МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА КОНТРОЛЯ ТТ/ТН

Методика расчета контроля ТТ/ТН

Контроль ТТ/ТН. Общие сведения

Применяется с целью контроля вторичных цепей измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Блок «Контроль ТТ» выдает сигнал «Неисправность ТТ» при потере хотя бы одной из фаз. Сигнал «Потеря фазы» появляется при отсутствии тока одной из фаз (ток меньше $0,01 I_{ном.тт.}$) и при наличии токов в двух других фазах (величина токов от $0,05 I_{ном.тт.}$ до $1,2 I_{ном.тт.}$, угол между токами от 110° до 130°).

Блок «Контроль ТН» (блокировка при неисправности в цепях напряжения, БНН) осуществляет контроль автомата ТН и БНН. БНН осуществляется при наличии несимметрии в измеряемых токах и/или напряжениях.

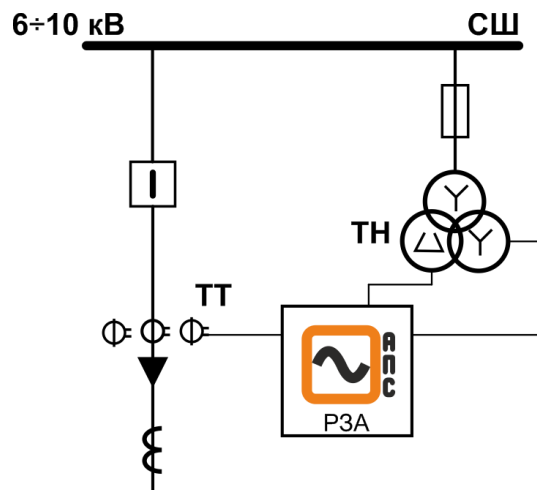


Рис. ТТ/ТН. 1. Подключение МПУ «МИР» к ТТ и ТН

Методика выбора параметров срабатывания контроля ТТ/ТН

В MIRAPS задаются следующие уставки контроля ТТ/ТН:

- Выдержка времени контроля ТТ $t_{к.тт.}$;
- Поведение контроля ТТ для защит 46/51N/67N;
- Уставка U_2 для БНН;
- Уставка $\Delta 3U_0$ для БНН;
- Уставка I_2 для БНН;
- Выдержка времени БНН $t_{бнн.}$;
- Время возврата БНН $t_{возвр.бнн.}$;
- Контроль автомата ТН: положение БК;
- Контроль автомата ТН: выдержка времени $t_{к.авт.тн.}$;
- Время возврата контроля автомата ТН $t_{возвр.к.авт.тн.}$;
- Поведение контроля ТН для защит 21/27/32/40/47/59/59N/81;
- Поведение контроля ТН для защит 67;
- Поведение контроля ТН для защит 67N;
- Поведение контроля ТН для защит 25.

Таблица ТТ/ТН 1. Методика расчета параметров срабатывания контроля ТТ/ТН

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Примечание
$t_{к.тТ}$	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение $t_{к.тТ} \geq 0,1 \text{ с}$	—
	Отстройка от времени срабатывания защит	$t_{к.тТ} \geq t_{см.макс.} + \Delta t$ Рекомендуемое значение $t_{к.тТ} = 5 \div 10 \text{ с}$	$t_{макс.}$ — максимальное время срабатывания защит смежных элементов; Δt — ступень селективности. Принимается $\Delta t = 0,3 \div 0,5 \text{ с}$.
Поведение для защит 46/51N/67N	Согласно проекту	Нет действия / блокировка	—
U_2	Отстройка от напряжения небаланса в нагрузочном режиме	Рекомендуемое значение $U_2 = (7 \div 15\%) \cdot U_{ном}$	$U_{ном.}$ — номинальное напряжение ТН Уставка задается в процентах от $U_{ном} \text{ ТН}$
$\Delta 3U_0$	Отстройка от напряжения небаланса в нагрузочном режиме	Рекомендуемое значение $\Delta 3U_0 = (7 \div 15\%) \cdot U_{ном}$	$U_{ном.}$ — номинальное напряжение ТН Уставка задается в процентах от $U_{ном} \text{ ТН}$
I_2	Отстройка от тока небаланса в нагрузочном режиме	$I_2 = \frac{K_{отс.}}{K_{возвр.}} \cdot (I_{2нб} + I_{2нр})$ Рекомендуемое значение $I_2 = (6 \div 15\%) \cdot I_{раб.макс.}$	$K_{отс.}$ — коэффициент отстройки. Принимается $K_{отс.} = 2$; $K_{возвр.}$ — коэффициент возврата. Принимается $K_{возвр.} = 0,935$; $I_{2нб.}$ — ток небаланса по обратной последовательности, обусловленный погрешностями измерения и расчета. Принимается $I_{2нб.} = 0,03 I_{раб.макс.}$, где $I_{раб.макс.}$ — максимальный рабочий ток присоединения; $I_{2нр}$ — ток небаланса по обратной последовательности, обусловленный несимметрией в системе. Уставка задается в процентах от $I_{ном. тТ}$

$t_{\text{БНН}}$	Обеспечение быстродействующей блокировки	Рекомендуемое значение $t_{\text{БНН}} = 0$	–
$t_{\text{ВОЗВР.БНН}}$	Обеспечение быстродействующего возврата БНН	Рекомендуемое значение $t_{\text{ВОЗВР.БНН}} = 0$	–
Положение БК	Согласно проекту	БК НО / БК НЗ	БК НО – блок-контакт автомата ТН нормально открытый; БК НЗ – блок-контакт автомата ТН нормально закрытый
$t_{\text{КАВТ.ТН}}$	Обеспечение быстродействующей блокировки	Рекомендуемое значение $t_{\text{КАВТ.ТН}} = 0$	–
$t_{\text{ВОЗВР.КАВТ.ТН}}$	Обеспечение быстродействующего возврата контроля автомата ТН	Рекомендуемое значение $t_{\text{ВОЗВР.КАВТ.ТН}} = 0$	–
Поведение для защит 21/27/32/40/47/59/59N/81	Согласно проекту	Нет действия / блокировка	–
Поведение для защит 67	Согласно проекту	Блокировка / нет направления	–
Поведение для защит 67N	Согласно проекту	Блокировка / нет направления	–
Поведение для защит 25	Согласно проекту	Нет действия / блокировка	–

Пример расчета параметров срабатывания контроля ТТ/ТН

Расчет параметров срабатывания контроля ТТ/ТН

Таблица ТТ/ТН 2. Расчет параметров срабатывания ЗМЧ

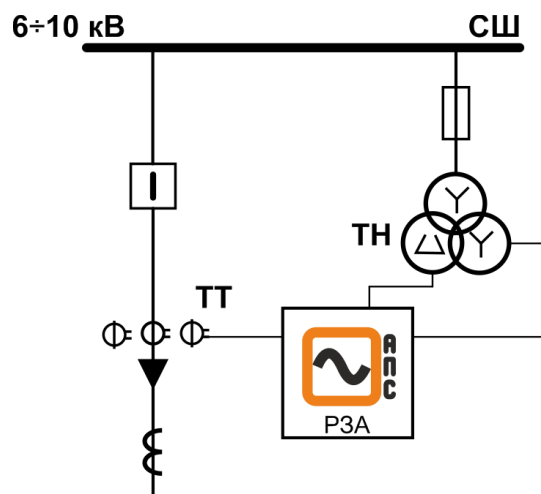
Исходные данные для расчета: схема сети	Данные об электроустановке:
 <p>6÷10 кВ</p> <p>СШ</p> <p>ТН</p> <p>ТТ</p> <p>РЗА</p>	<p>$U_{НОМ.ТН} = 6 \text{ кВ};$ $I_{НОМ.ТТ} = 300 \text{ А};$ $I_{РАБ.МАКС.} = 210 \text{ А};$ Введены защиты: направленная ЗОЗЗ (67N), МТЗ (50/51), ТЗОП (46), УРОВ (50 BF), ЗМН (27, 27S); Действие защит при обрыве цепей тока: Блокировка защиты ТЗОП (46)* *защита 67N не блокируется, т.к. сигнал 3I0 поступает с ТТНП; Действие защит при нарушении цепей напряжения: Блокировка осуществляется БНН (по уставкам) и контроль автомата ТН.</p>

Таблица ТТ/ТН 3. Расчет параметров срабатывания контроля ТТ/ТН

Уставка	Расчетное условие	Расчетное выражение	Расчет	Принятая уставка
$t_{к.ТТ}$	Отстройка от длительности переходных процессов	Рекомендуемое значение $t_{к.ТТ} \geq 0,1 \text{ с}$	$t_{к.ТТ} = 5$	5 с
	Отстройка от времени срабатывания защит	$t_{к.ТТ} \geq t_{см.макс.} + \Delta t$ Рекомендуемое значение $t_{к.ТТ} = 5 \div 10 \text{ с}$		
Поведение для защит 46/51N/67N	Согласно проекту	Нет действия / блокировка	Блокировка	Блокировка

U_2	Отстройка от напряжения небаланса в нагрузочном режиме	Рекомендуемое значение $U_2 = (7 \div 15 \%) \cdot U_{НОМ}$	$U_2 = 10 \% \cdot U_{НОМ}$	10 %
$\Delta 3U_0$	Отстройка от напряжения небаланса в нагрузочном режиме	Рекомендуемое значение $\Delta 3U_0 = (7 \div 15 \%) \cdot U_{НОМ}$	$\Delta 3U_0 = 10 \% \cdot U_{НОМ}$	10 %
I_2	Отстройка от тока небаланса в нагрузочном режиме	$I_2 = \frac{K_{ОТС.}}{K_{ВОЗВР.}} \cdot (I_{2НБ} + I_{2НР})$ Рекомендуемое значение $I_2 = (6 \div 15 \%) \cdot I_{РАБ.МАКС.}$	$I_2 = 10\% \cdot 210 = 21;$ $I_2 = \frac{21}{300} \cdot 100 = 7$	7 %
$t_{БНН}$	Обеспечение быстродействующей блокировки	Рекомендуемое значение $t_{БНН} = 0$	$t_{БНН} = 0$	0
$t_{ВОЗВР.БНН}$	Обеспечение быстродействующего возврата БНН	Рекомендуемое значение $t_{ВОЗВР.БНН} = 0$	$t_{ВОЗВР.БНН} = 0$	0
Положение БК	Согласно проекту	БК НО / БК НЗ	БК НО	БК НО
$t_{КАВТ.ТН};$	Обеспечение быстродействующей блокировки	Рекомендуемое значение $t_{КАВТ.ТН} = 0$	$t_{КАВТ.ТН} = 0$	0
$t_{ВОЗВР.КАВТ.ТН}$	Обеспечение быстродействующего возврата контроля автомата ТН	Рекомендуемое значение $t_{ВОЗВР.КАВТ.ТН} = 0$	$t_{ВОЗВР.КАВТ.ТН} = 0$	0
Поведение для защит 21/27/32/40/47/59/59N/81	Согласно проекту	Нет действия / блокировка	Блокировка	Блокировка
Поведение для защит 67	Согласно проекту	Блокировка / нет направления	Не вводится	Не вводится
Поведение для защит 67N	Согласно проекту	Блокировка / нет направления	Блокировка	Блокировка
Поведение для защит 25	Согласно проекту	Нет действия / блокировка	Блокировка	Не вводится

Таблица ТТ/ТН 4. Карта уставок для 60CTS/VTS: Контроль ТТ/ТН

Параметр		Значения параметров	Диапазон
Контроль ТТ			
Вкл.		<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
Выдержка времени, с		5 с	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Поведение для 46/51N		1. Блокировка.	0. Нет действия; 1. Блокировка.
Контроль ТН (БНН)			
<input checked="" type="checkbox"/> БНН			
U2	Активация	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
	%Uном	10 %	От 15 % до 60 %, шаг 1 %
	Выдержка времени	0	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Δ3U0	Активация	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
	%Uном	10 %	От 2 % до 200 %, шаг 1 %
	Выдержка времени	0	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Параметр		Значение параметра	Диапазон
I2	Активация	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
	%Iном	7 %	От 10 % до 500 %, шаг 1 %
	Выдержка времени	0 с	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Выдержка времени		0	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Время возврата		0 с	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Предохранитель		<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
<input type="checkbox"/> Контроль автомата ТН			
БК НО	Активация	<input checked="" type="checkbox"/>	Активен/Нет
	Выдержка времени	0	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
БК НЗ	Активация	<input type="checkbox"/>	Активен/Нет
	Выдержка времени	0	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс
Время возврата		0	От 0 с до 300 с, шаг 1 мс

Поведение защит		
Поведение для 67		Блокировка/Нет направления
Поведение для 67N	Блокировка	Блокировка/Нет направления
Поведение для 21/27/32/40/47/59/59N/81	Блокировка	Нет действия/Блокировка
Поведение для 25		Блокировка/Нет направления

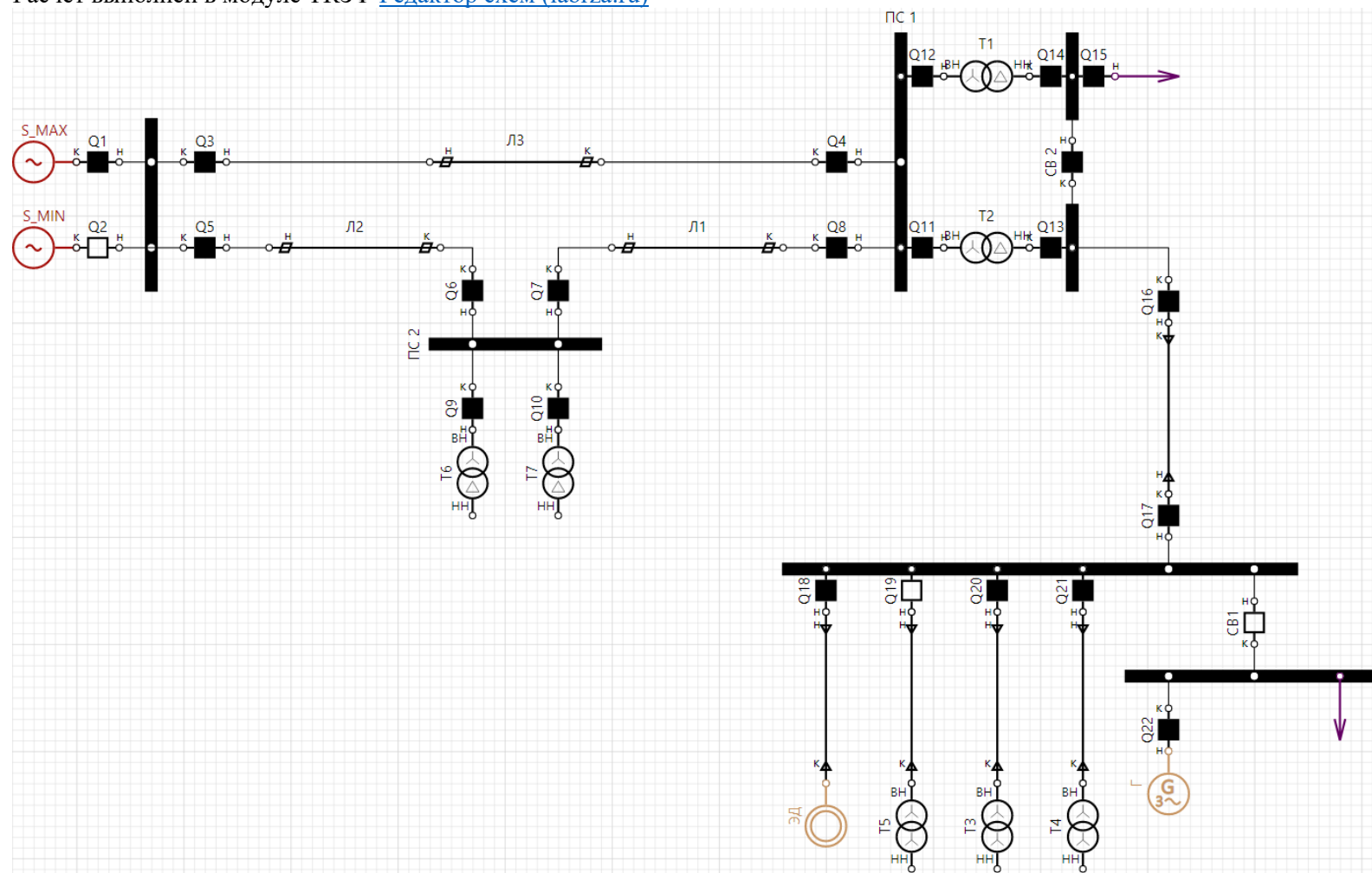
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] СТО 56947007- 29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС), 2017.
- [2] Правила Устройства электроустановок. 7-е издание.
- [3] СТО 56947007-29.120.70.305-2020. Методические указания для выбора параметров настройки и срабатывания МП устройств РЗА оборудования 6-35 кВ объектов ЕНЭС, 2020.
- [4] СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СТО ДИВГ-057-2016. Защита генераторов, работающих на сборные шины. Расчет параметров срабатывания. Методические указания
- [5] Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 1. "Защита генераторов, работающих на сборные шины." – М.: «Госэнергоиздат», 1961, – 68 с. черт. и табл.
- [6] Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6 – 10 кВ. – М.: Энергопрогресс, Энергетик, 2001. – 104 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Модель для расчета токов КЗ

Расчет выполнен в модуле ТКЗФ [Редактор схем \(labrza.ru\)](http://labrza.ru)



Приложение 2 – Лист регистрации изменений

[illegible]

[illegible]

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Контактная информация для связи с производителем по всем интересующим вопросам:

Вид связи	Контакты	
Сайт	https://www.aps-m.com/	
Центральный офис	Россия, 127106, г. Москва, Нововладыкинский проезд, д. 1, к. 4, помещ. 2	
	+7 (495) 308-04-56	office@aps-m.com
Производство	Россия, 153002, г. Иваново, ул. Громобоя, д. 1	

Региональные представительства можно посмотреть на нашем сайте.