

РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕРМИНАЛА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ MISOM P443

AP

дата:	8th Сентября 2006
Суффикс аппаратного обеспечения:	К
Версия программного обеспечения:	51
Схемы подключения:	10P44303xx (xx= 01 и 03) 10P44304xx (xx= 01 и 03) 10P44305xx (xx= 01 и 03) 10P44306xx (xx= 01 и 03)

СОДЕЖАНИЕ

	Стр.
1. ВВЕДЕНИЕ	7
1.1 Защита воздушных, кабельных и комбинированных линий электропередачи	7
2. ПРИМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ЗАЩИТЫ	8
2.1 Упрощенный и расширенный режим задания уставок	8
2.2 Уставки параметров линии	8
2.2.1 Компенсация нулевой последовательности при однофазных КЗ	8
2.2.2 Компенсация влияния взаимоиндукции параллельной линии	8
2.3 Выбор характеристик дистанционных органов	8
2.3.1 Характеристики ДЗ от междуфазных замыканий	9
2.3.2 Характеристики ДЗ для защиты от однофазных пореждей	10
2.4 Зоны охвата дистанционной защиты – рекомендуемые уставки	10
2.5 Резистивный охват ДЗ от м/ф КЗ для четырехугольной характеристики	11
2.6 Резистивный охват ДЗ от 1ф. КЗ для четырехугольной характеристики	12
2.6.1 Уставки охвата по Z ДЗ от м/ф КЗ	12
2.6.2 Принцип работы направленной дистанционной защиты и ее конфигурация	13
2.7 Настройка ДЗ – фильтрация, отстройка от нагрузочных режимов и выбор направления (поляризация)	13
2.7.1 Цифровая фильтрация	13
2.7.1.1 Емкостные ТН с пассивным подавлением феррорезонанса	13
2.7.1.2 Емкостные ТН с активным подавлением феррорезонанса	13
2.7.2 Отстройка от нагрузочных режимов	13
2.7.3 Рекомендуемые уставки напряжения поляризации	14
2.8 Уставки базовой схемы дистанционных органов	15
2.9 Сигнализация и блокировка ДЗ при качаниях мощности	16
2.9.1 Защита от асинхронного хода	17
2.9.2 Угол нарушения устойчивости	17
2.9.2.1 Рекомендации по выбору режимных уставок	19
2.9.2.2 Определение границ зон отстройки от импеданса нагрузочного режима	20



2.9.2.3	Расчет уставок Delta t, R5 и R6	23
2.9.2.4	Задержка на отключение tOST (t ОТКЛ. ПРИ КАЧ.)	24
2.9.2.5	Уставка угла луча ограничения характеристики для отстройки от нагрузки	24
2.9.2.6	Работа функции защиты от асинхронного хода на линиях с последовательной компенсацией	24
2.10	Ускорение при включении на повреждение (SOTF) и отключение после АПВ (TOR)	26
2.10.1	Режим ручного включения на повреждение (ВПОВ)	26
2.10.2	Отключение при повторном автоматическом включении	26
2.11	Направленная ЗНЗ – выбор конфигурации и режимы выбора направления	26
2.11.1	Поляризация НЗНЗ (DEF) по параметрам нулевой последовательности	26
2.11.2	Поляризация НЗНЗ (DEF) по параметрам обратной последовательности	27
2.11.3	Общие рекомендации по выбору уставок функции DEF (направленная защита от замыканий на землю)	27
2.11.4	Принцип работы органа направления по направлению и уставка	27
2.11.5	Защита на принципе сравнения направлений по приращениям параметров – выбор уставок ΔI и ΔV	27
2.12	Схемы защиты с использованием канала связи	29
2.12.1	Схема ускорения ДЗ по принципу – разрешающее телеотключение с недоохватом (PUR)	29
2.12.2	Схема ускорения ДЗ по принципу – разрешающее телеотключение с переохватом (POR)	29
2.12.3	Схема разрешающего переохвата логики отключения конца со слабым питанием	30
2.12.4	Схемы ускорения ДЗ с использование логики блокирования	30
2.12.5	Контроль реверса тока в разрешающей схеме с переохватом	30
2.12.6	Контроль реверса тока в блокирующей схеме	30
2.12.7	Направленная ЗНЗ (DEF) с использованием канала связи – разрешающая схема с переохватом	30
2.12.8	Направленная ЗНЗ (DEF) с использованием канала связи – блокирующая схема	31
2.12.9	Защита на принципе сравнении направления по приращениям – схема разрешающего телеотключения с переохватом (POR)	31
2.12.10	Защита на принципе сравнении направления по приращениям – блокирующая схема	31

2.12.11	Таймер контроля реверса тока защиты по сравнению направлений	32
2.13	Ускоренное отключение при потере нагрузки (LoL)	32
2.14	EIA(RS)232 InterMiCOM (“mODEM InterMiCOM”)	32
2.15	InterMiCOM⁶⁴ (“Опто InterMiCOM”)	34
2.15.1	Оптический ресурс	34
2.15.2	Уставки источника сигналов времени	34
2.15.3	Скорость передачи данных	35
2.15.4	Типы команд функции IMx	35
2.15.5	Режим связи IMx при неисправности канала	36
2.16	Максимальная токовая защита от междуфазных КЗ	36
2.16.1	Уставки угла максимальной чувствительности направленной МТЗ	37
2.17	Защита от теплового перегруза	37
2.17.1	Характеристика с одной постоянной времени	37
2.17.2	Характеристика с двумя постоянными времени	38
2.18	Стандартная ЗНЗ и чувствительная ЗНЗ (SEF)	38
2.18.1	Направленная защита от замыканий на землю	39
2.18.1.1	Поляризация напряжением нулевой последовательности	39
2.18.2	Общие рекомендации по выбору уставок направленной ЗНЗ	39
2.19	Максимальная токовая защита обратной последовательности (ТЗОП)	39
2.19.1	Уставка срабатывания ТЗОП, 'I2> current set'	40
2.19.2	Задержка на срабатывание ТЗОП, 'I2> time delay'	40
2.19.3	Выбор направления ТЗОП	40
2.20	Защита минимального напряжения	41
2.21	Защита максимального напряжения	41
2.22	Защита по повышению напряжения нулевой последовательности (напряжение смещения нейтрали)	41
2.22.1	Рекомендации по выбору уставок	44
2.23	Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ)	44
2.23.1	Уставки таймера УРОВ	44
2.23.2	Уставка детектора отсутствия тока	44

2.24	Обнаружение обрыва проводника линии	45
2.24.1	Рекомендации по выбору уставок	46
3.	ПРИМЕР ВЫБОРА УСТАВОК И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	47
3.1	Пример выбора уставок дистанционной защиты	47
3.1.1	Цель	47
3.1.2	Данные системы	47
3.1.3	Уставки реле	47
3.1.4	Импеданс линии	47
3.1.5	Компенсация нулевой последовательности ДЗ от 1ф. КЗ	48
3.1.6	Охват Зоны Z1 ДЗ при м/ф и 1ф. КЗ	48
3.1.7	Охват Зоны Z2 ДЗ от м/ф и 1ф. КЗ	48
3.1.8	Охват Зоны Z3 ДЗ от м/ф и 1ф. КЗ	49
3.1.9	Охват зоны Z3 в сторону шин подстанции	49
3.1.10	Отстройка от нагрузочных режимов	49
3.1.11	Дополнительные уставки для четырехугольных характеристик	50
3.1.11.1	Резистивный охват органов ДЗ от м/ф КЗ (Rph)	50
3.1.11.2	Резистивный охват органов ДЗ от 1ф. КЗ (RGnd)	51
3.2	Защита трехконцевых линий	51
3.2.1	Эффект кажущегося импеданса	51
3.2.2	Схемы разрешающей логики с переохватом (POR)	52
3.2.3	Схемы разрешающей логики с недохватом (PUR)	52
3.2.4	Схемы логики блокирования	53
3.3	Подключение ТН	54
3.3.1	ТН по схеме разомкнутый треугольник (подключение типа V)	54
3.3.2	Заземление вторичных обмоток ТН в одной точке	54
3.4	Контроль исправности цепи отключения (TCS)	54
3.4.1	Схема 1	55
3.4.1.1	Описание схемы	55
3.4.1.2	Логика реле для Схемы 1	56
3.4.2	Схема 2	57
3.4.2.1	Описание схемы	57

3.4.2.2	Логика реле для Схемы 2	58
3.4.3	Схема 3	58
3.4.3.1	Описание схемы	58
3.4.3.2	Логика реле для Схемы 3	59
4.	ПРИМЕНЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ	60
4.1	Однополюсное и трехполюсное АПВ	60
4.1.1	АПВ с задержкой включения и быстродействующее АПВ	60
4.1.2	Логическая последовательность работы функции АПВ	60
4.1.3	Рекомендации по выбору уставок	60
4.1.3.1	Контроль готовности привода выключателя	60
4.1.3.2	Количество попыток повторного включения	60
4.1.3.3	Уставка таймера бестоковой паузы АПВ	61
4.1.3.4	Время деионизации	61
4.1.3.5	Пример расчета минимального времени бестоковой паузы АПВ	62
4.1.3.6	Уставка таймера готовности АПВ	62
4.2	Контроль исправности вторичных цепей ТТ	63
4.3	Контроль состояния выключателя	63
4.3.1	Уставка суммы отключенных токов	63
4.3.2	Уставка количества допустимых отключений	63
4.3.3	Уставка контрольного времени срабатывания	64
4.3.4	Уставка недопустимой частоты КЗ	64
5.	ТРЕБОВАНИЯ К ТРАНСФОРМАТОРАМ ТОКА	65
5.1	Точность работы на границе Зоны Z1 (RPA)	65
5.2	Работа Зоны Z1 при близких КЗ	65
5.3	Рекомендуемые классы ТТ (Британский и МЭК)	65
5.4	Определение напряжения V_k для ТТ класса «С» стандарта IEEE	65
6.	НОМИНАЛ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ПИТАНИЯ ОПЕРАТИВНЫМ ТОКОМ	66

РИСУНКИ

Figure 1:	Уставки при использовании характеристики типа Mho	9
Figure 2:	Уставки при использовании четырехугольной характеристики	10
Figure 3:	Базовая схема организации схемы дистанционной защиты линии	16
Figure 4:	Зависимость передаваемой мощности от угла θ между концами линии	18
Figure 5:	Определение уставки для резистивного компонента прямой последовательности R5	21
Figure 6:	Определение максимального значения $R6_{MAX}$	22
Figure 7:	Пример сброса таймера в результате срабатывания метал-оксидного варистора (MOV)	25
Figure 8:	Напряжение нулевой последовательности в сети с глухозаземленной нейтралью	42
Figure 9:	Напряжение нулевой последовательности в сети с резистивным заземлением нейтрали	43
Figure 10:	Пример системы для расчета уставок ДЗ	47
Figure 11:	Применение для 3-концевой линии – кажущиеся импедансы измеряемые дистанционными органами ДЗ	52
Figure 12:	Применение для трехконцевой линии	53
Figure 13:	Контроль цепи отключения, Схема 1	55
Figure 14:	Логика реле при использовании Схемы 1 или 3	56
Figure 15:	Схема 2 контроля цепи отключения	57
Figure 16:	Логика реле при использовании Схемы 2	58
Figure 17:	Схема 3 контроля цепи отключения	58

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Защита воздушных, кабельных и комбинированных линий электропередачи

Системы передачи необходимы для передачи электрической энергии из места генерации в место потребления. Наиболее распространенной средой передачи является воздушная линия, которая должна иметь максимальную готовность к работе. Воздушная линия электропередачи больше не защищена от воздействия окружающей среды и, следовательно, более подвержена возможности возникновения короткого замыкания. Устройства релейной защиты должны отключить линию для локализации повреждения на линии. Быстродействие устройств релейной защиты необходимо для уменьшения повреждения оборудования током КЗ, а также для повышения устойчивости энергосистемы. В тех случаях когда в энергосистеме недостаточно обходных или параллельных связей, может быть востребовано ОАПВ. Это в свою очередь требует применения быстродействующих устройств релейной защиты для сокращения общего времени устранения повреждения.

В любой системе защиты важное значение имеют резервные защиты. В случае выхода из строя оборудования, например, канал связи или отказ выключателя, необходимо обеспечить альтернативный способ локализации повреждения. Требуется обеспечить резервную защиту которая бы имела небольшое время работы и в тоже время была селективна с основной защитой и другими защитами установленными в системе.

MiCOMho обеспечивает быструю, селективную защиту для отключения повреждений на линии. Расширенные функциональные возможности по отстройке от нагрузочных режимов и диагностика различных видов нарушений режима работы системы – такие как, например, блокировка при качаниях мощности - обеспечивает стабильность защиты в случаях, когда отключение не требуется. Доступный выбор характеристик типа Mho или четырехугольник (полигон) обеспечивать широкие возможности по применению в качестве основной защиты для всех типов линий сети с эффективно заземленной нейтралью, а также в распределительной сети, включая воздушные, кабельные или комбинированные (частично кабельная и частично воздушна) линии.

В терминале интегрирован широкий набор различных функций резервных защит и управления. Кроме этого имеется выбор между двумя интегрированными схемами телеускорения защиты, что обеспечивает быстрое отключение повреждения на любом участке линии и снижает общую стоимость системы защиты.

В терминале доступны для использования мощные средства регистрации дискретной и аналоговой информации, функции мониторинга, что способствует диагностике оборудования энергосистемы и облегчает анализ аварий.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ЗАЩИТЫ

В следующих разделах приведена подробная информация по назначению и условиям применения отдельных функций защиты. Для пояснения методик выбора уставок приведены реальные примеры.

2.1 Упрощенный и расширенный режим задания уставок

Для удобства пользователя в MiCOM P443 предлагаются два режима задания уставок дистанционной защиты: “Simple” (Простой) и “Advanced” (Расширенный). Для большинства случаев применения рекомендуется использовать режим “Simple”, при этом требуется просто задать параметры линии, такие как длина, импеданс и компенсацию нулевой последовательности. Затем, вместо задания уставок импедансов зон охвата в Омах, уставки зон дистанционной защиты вводятся как **проценты от длины линии**. Это особенно облегчает выбор уставок при их согласовании с ранее установленными в сети дистанционными защитами типа LFZP Optimho, а также уменьшенное количество уставок упрощает использование функции Autocalc программного обеспечения Omicron.

Режим “Advanced” рекомендуется использовать в сети, когда защищаемая и смежная с ней линии имеют конструктивные различия, что требует задания различных характеристических углов для разных зон и различной компенсации нулевой последовательности. В этом режиме пользователь имеет возможность индивидуального задания уставок в Омах для зон охвата и компенсации нулевой последовательности, а также уставок по порогу тока срабатывания для каждой из зон. Это позволяет адаптировать терминал к различным условиям применения.

2.2 Уставки параметров линии

Очень важно (особенно при использовании упрощенного режима задания уставок) чтобы были правильно заданы данные соответствующие 100% длины линии. Следует обратить внимание на то, что уставки могут быть заданы как в первичных так во вторичных величинах. Выбор выполняется заданием соответствующего значения в подменю “Setting Values” (Величины уставок) в колонке меню “Configuration” (Построение).

2.2.1 Компенсация нулевой последовательности при однофазных КЗ

В случае замыкания на землю, предполагается, что ток нулевой последовательности (вычисляемый как векторная сумма трех токов фаз $I_a + I_b + I_c$) протекает по цепи петли тока замыкания на землю. Таким образом, зона охвата петли замыкания на землю для каждой зоны в общем случае должна быть увеличена путем умножения на коэффициент $(1+kZN)$ по сравнению с охватом прямой последовательности для соответствующего органа реагирующего междуфазные КЗ.

Внимание: Угол kZN отличается от реле LFZP, SHNB и LFZR: при импортировании уставок из реле старых типов, вычитается угол $\angle Z_1$



2.2.2 Компенсация влияния взаимной индукции параллельной линии

Типовым значением коэффициента является значение 1,5, что дает надежный запас по отношению к минимальным требованиям, при которых обеспечивается правильная компенсация при замыканиях в пределах защищаемой линии и исключается ложная работа защиты при замыканиях на параллельной линии.

2.3 Выбор характеристик дистанционных органов

Общие рекомендации по выбору характеристик дистанционных органов:

- Применение для коротких линий: характеристика типа Mho для ДЗ от междуфазных КЗ и четырехугольник для ДЗ от однофазных КЗ.

- Для случая применения с ТН со схемой разомкнутого треугольника (фильтр напряжения нулевой последовательности) : Характеристика типа Mho для ДЗ от междуфазных КЗ и выведенной ДЗ от однофазных КЗ; для защиты от КЗ на землю используется направленная ЗНЗ.
- Для линий с последовательной компенсацией: Рекомендуется всегда использовать характеристики типа Mho для ДЗ от междуфазных КЗ и ДЗ от замыканий на землю.

2.3.1 Характеристики ДЗ от междуфазных замыканий

Выбор характеристика типа Mho или четырехугольник является общим для всех зон дистанционной защиты. В общем случае выбранная характеристика должна соответствовать практике принятой в энергосистеме. В случае применения для защиты линии в сети, по аналогии с такими моделями реле производства AREVA как LFZP Optimho, LFZR, SHNB Micromho или SHPM Quadramho, рекомендуется выбрать характеристики типа Mho. При необходимости согласования или применения по аналогии с дистанционными реле типов MiCOM P441/442/444, рекомендуется использовать четырехугольные характеристики.

На рисунке 1 показаны основные уставки, которые необходимо задать при выполнении конфигурации направленных вперед (в линию) зон характеристики типа mho, с использованием линий-ограничителей для отстройки от нагрузочных режимов. На рисунке 2 показаны основные уставки необходимые для конфигурирования направленной вперед четырехугольной характеристики (ограничители зоны для отстройки от нагрузочных режимов не показаны).

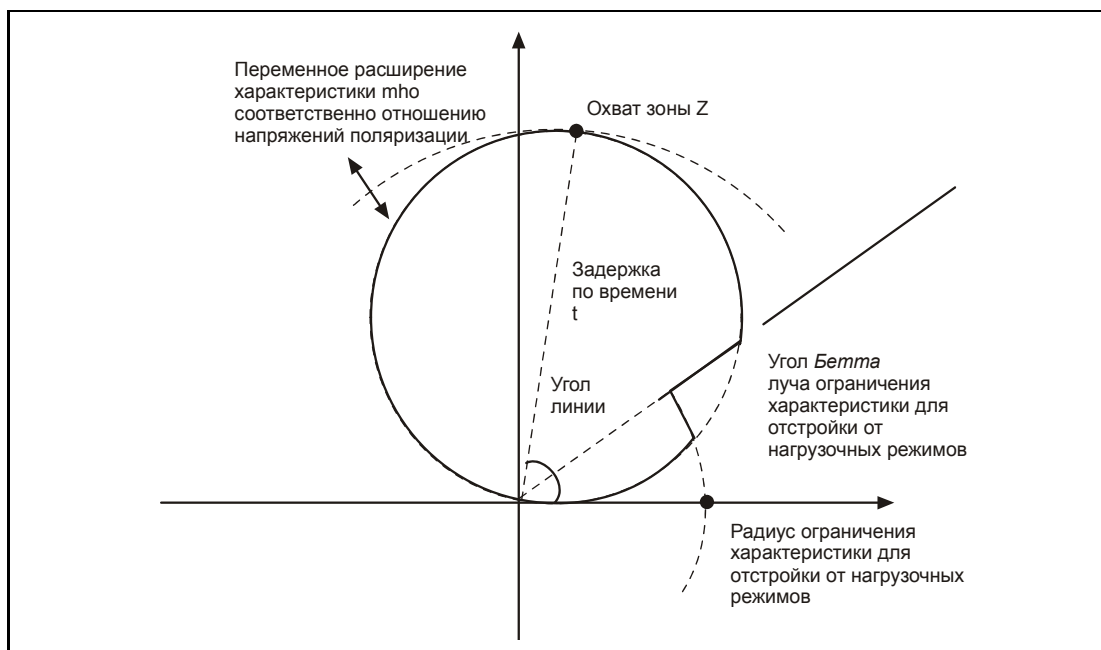


Figure 1: Уставки при использовании характеристики типа Mho

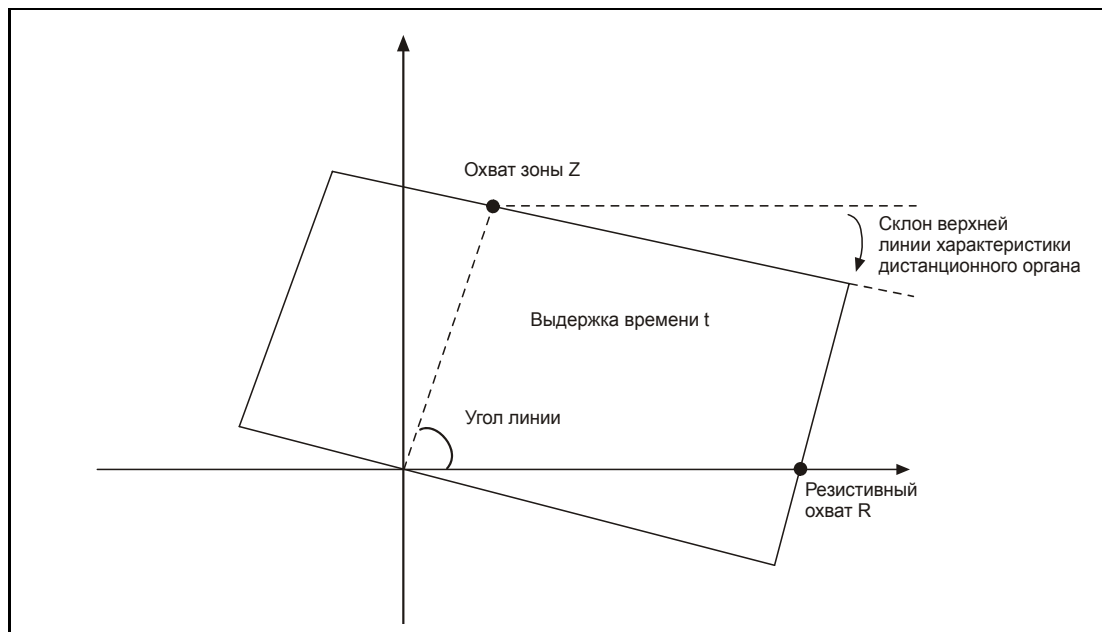


Figure 2: Уставки при использовании четырехугольной характеристики

2.3.2 Характеристики ДЗ для защиты от однофазных пореждений

В общем случае для выбора характеристик дистанционной защиты от замыканий на землю используется та же философия что и для защиты от междуфазных замыканий. Выбранный тип характеристик типа Mho или четырехугольник является общим для всех зон дистанционной защиты. При использовании реле для защиты длинных или средних линий по аналогии с такими моделями реле производства AREVA как LFZR Optimho, LFZR, SHNB Micromho или SHPM Quadramho, рекомендуется выбрать характеристики типа Mho. Для защиты кабельных линий или применения по аналогии с такими моделями дистанционных реле MiCOM P441/P442/P444, рекомендуется использовать четырехугольные характеристики.

Четырехугольная характеристика ДЗ защиты от однофазных КЗ также рекомендуется для защиты линий короче 10 миль (16 км). Это делается для того, чтобы резистивный охват сопротивления дуги не зависел от динамического расширения окружности mho, а был бы известной величиной задаваемой соответствующей уставкой.

2.4 Зоны охвата дистанционной защиты – рекомендуемые уставки

Уставка охвата 1-й зоны дистанционной защиты (Z1) задается такой чтобы обеспечить отключение без выдержки времени повреждений на возможно большей длине линии. В большинстве случаев применения 1-я зона не должна работать при коротких замыканиях за пределами защищаемой линии, т.е. работать с недохватом. При этом следует также учитывать возможную ошибку ведущую к переохвату. Эта ошибка в измерения импеданса может быть вызвана как погрешностью самого реле, так и погрешностями ТТ и ТН. Учитывая вышесказанное рекомендуется задать уставку дистанционного органа 1-й зоны ДЗ на уровне 80% величины полного импеданса прямой последовательности защищаемой линии, при условии что оставшиеся 20% длины линии входят во 2-ю зону ДЗ.

Дистанционный орган 2-й зоны (Z2) должен охватывать 20% линии, не охваченные дистанционным органом 1-й зоны ДЗ. Учитывая погрешность недохвата, уставка охвата 2-й зоны ДЗ (Z2) должна быть не менее 120% импеданса защищаемой линии при всех режимах сети. При использовании телеускорения по каналу связи, требуется быстроедействие измерительного органа второй зоны ДЗ. В таком случае рекомендуется установить максимально возможную уставку охвата измерительного органа 2-й зоны ДЗ для того чтобы КЗ в конце линии были в начале зоны охвата измерительного органа и, следовательно, он сработает очень быстро. Условием

ограничивающим максимальной уставку является, то что Z2 не должна выходить за пределы 1-й зоны смежной линии. Поэтому уставка охвата органа 2-й зоны ДЗ не должна, по возможности, быть больше чем 50% от величины импеданса самой короткой из смежных линий.

Уставка охвата 3-й зоны дистанционной защиты должна обеспечивать резервирование защит смежных линий. Типовое значение уставки 3-й зоны составляет 120% от суммарного импеданса защищаемой и самой длинной из смежных с ней линий. В тех случаях, когда имеет место подпитка места КЗ от нескольких источников или имеются параллельные связи, может потребоваться увеличение кажущегося импеданса смежной линии.

Зона 3 также может быть запрограммирована на небольшое смещение «за спину». В этом случае зона охвата в обратном направлении задается также в процентах от импеданса защищаемой линии. Смещение характеристики в третий квадрант обычно используется для резервирования защиты шин. При этом смещение задается на уровне в 20% для коротких линий (менее 30 км) или 10% для длинных линий.

Зона Р является зоной программируемой в направлении вперед (от шин) или назад (к шинам). Уставки задаваемые для зоны Р зависят от ее назначения в схеме дистанционной защиты. Типовыми случаями ее использования могут считаться дополнительная зона с выдержкой времени направленная вперед или резервная защита шин или трансформатора направленная назад. В первом случае дополнительная зона может быть востребована, если в энергосистеме принято использовать более трех зон дистанционной защиты направленных в линию.

Зона 4 также обеспечивает резервирование в сторону шин. В тех случаях, когда зона 4 используется для определения обратного направления КЗ для схем с передачей блокирующего или разрешающего сигнала, охват этой зоны должен быть больше чем у 2-й зоны реле противоположного конца линии. В этом случае охват зоны 4 в направлении шин должен быть следующим (зависит от использованной характеристики):

Mho: $Z4 \geq ((\text{Охват зоны 2 противоположного реле}) \times 120\%)$

Четырехугольник: $Z4 \geq ((\text{Охват зоны 2 противоположного реле}) \times 120\%)$ минус импеданс защищаемой линии

Обратите внимание, на то, что при использовании характеристики mho, импеданс защищаемой линии не вычитается. Это необходимо для того, чтобы каким бы ни было динамическое расширение окружности охвата, зона, направленная в обратную сторону (к шинам), имела бы возможность обнаруживать все металлические КЗ и КЗ через переходное активное сопротивление (дуги) которые чувствуются зоной 2 реле противоположного конца защищаемой линии.

2.5 Резистивный охват ДЗ от м/ф КЗ для четырехугольной характеристики

Для задания уставки охвата по оси активных сопротивлений могут быть использованы два метода:

Common (Общий) - в этом режиме у всех зон одна общая уставка по оси R

Proportional (Пропорциональный) - в этом режиме резистивные охваты зон находятся в том же соотношении что и охваты по оси X. Значение уставки “Fault Resistance” (Активное сопротивление КЗ) определяет базовое значение активного сопротивления при КЗ в конце защищаемой линии, и в зависимости от заданных в процентах уставок охватов зон (по Z), охваты зон по оси R будут составлять те же проценты от установленного значения “Fault Resistance”. Например, если для зоны 1 задан охват в 80 от индуктивного сопротивления защищаемой линии, то резистивный охват этой зоны будет составлять те же 80% от базового сопротивления “Fault Resistance”.

Пропорциональный режим формирования резистивного охвата зон используется для имитации Германской практики в области релейной защиты, а также, для того чтобы исключить получение слишком широких зон (ширина зоны по R по сравнению с охватом Z). В общем случае, а также для облегчения проверки с подачей в реле аварийных параметров от проверочной установки, наилучшим соотношением охватов для любой из зон является диапазон 1:15:

$$1/15 \leq \text{охват Z} / \text{охват R} \leq 15$$

Уставки резистивного охвата (RPh и RG) должны выбираться из сложившейся в энергосистеме практике. Если такой практики не существует, то можно последовать следующим указаниям для Зоны Z1:

Кабели - Резистивный охват = 3 x охват Z1

Воздушная линия - Резистивный охват = [2.3 – 0.0045 x Длина линии (км)] x охват Z1

Линии более 400км - Резистивный охват = 0,5 x охват Z1

2.6 Резистивный охват ДЗ от 1ф. КЗ для четырехугольной характеристики

Принимая во внимание тот факт, что величина тока замыкания на землю ограничивается сопротивлением зеземления опоры линии электропередачи, высоким сопротивлением грунта и слабой подпиткой; часто требуется значительно больше резистивный охват ДЗ от однофазных КЗ, чем резистивный охват защиты от междуфазных замыканий. Обычным явлением можно считать уставку RG в три раза превышающая уставку RPh.

2.6.1 Уставки охвата по Z ДЗ от м/ф КЗ

Следует отметить, что каждая из зон имеет две дополнительные уставки, которые недоступны в Упрощенном (Simple) режиме задания уставок. Этим уставками являются:

- Угол наклона верхней линии четырехугольной характеристики ДЗ от м/ф КЗ
- уставка чувствительности по минимальному току

Заводская уставка (по умолчанию) по склону верхней линии для четырехугольной характеристики не равна нулю. Верхняя линия наклонена вниз на 3 градуса, для того чтобы учесть угловую погрешность трансформаторов тока, трансформаторов напряжения и самого реле. Данный склон верхней линии характеристики позволяет избежать эффекта переохвата дистанционного органа Зоны 1.

Фиксированная уставка наклона характеристики (*Tilt* - **НАКЛОН.ВЕРХ.Zx**) дистанционных органов защиты от м/ф замыканий может быть также использована для компенсации эффекта переохвата в тех случаях когда тяжелый нагрузочный режим предшествует короткому замыканию. В этом случае сопротивление дуги смещается по фазе на плоскости импеданса к оси R (т.е. кажется, что сокращается резистивный охват). Для длинных линий с тяжелыми нагрузочными режимами верхняя линия характеристики может быть наклонена в диапазоне от -5 до -15 градусов, учитывая фазовый сдвиг сопротивления. Отрицательные значения углов означают склон верхней линии характеристики вниз, а положительные значения означают подъем вверх.

Следует отметить, что характеристики mho по своему принципу работы имеют врожденную тенденцию исключения нежелательного переохвата, что делает желательным их применение для защиты длинных линий, а также является причиной их интегрирования в реле MiCOM P54x.

Уставка тока **Sensitivity (Чувствительность)** для каждой из зон ДЗ (Zx ЧУВСТ. Iph>x) используется для задания минимального тока, который должен протекать по каждой

из повредившихся фаз прежде чем может быть отключение. Рекомендуется сохранить заводское значение уставки (уставка по умолчанию). Исключением могут быть случаи, когда необходимо сделать реле менее чувствительным для согласования с другими существующими в сети реле, имеющими меньшую чувствительность, или для согласования с максимальными токовыми защитами от однофазных КЗ на линиях с отпайками.

2.6.2 Принцип работы направленной дистанционной защиты и ее конфигурация

2.7 Настройка ДЗ – фильтрация, отстройка от нагрузочных режимов и выбор направления (поляризация)

2.7.1 Цифровая фильтрация

В большинстве случаев применения рекомендуется использовать *Standard (Стандартный)* режим фильтрации. Это обеспечивает быстрое действие в работе защиты, с принятием решения на отключение за время менее 1 периода. В редких случаях, например, когда смежной линией является высоковольтная линия электропередачи постоянного тока, токи и напряжения, поступающие на входы реле в аварийных режимах (КЗ) могут существенно отличаться от синусоидальных величин. В результате гармонические составляющие аварийных параметров (отличные от первой гармоники частоты сети) могут повлиять на точность измерения дистанционной защиты. Для предотвращения влияния на реле в подобных случаях может быть использован режим фильтрации *“Special” (ПО ВЫБОРУ)*. Следует отметить, что использование более длинной линии фильтрации увеличивает минимальное время срабатывания реле примерно на четверть периода частоты сети.

2.7.1.1 Емкостные ТН с пассивным подавлением феррорезонанса

Установите уставку фильтра при использовании любого из емкостных ТН (CVT) типа 2 (ТН с антирезонансной конструкцией) в значение *“Passive” (Пассивный)*. Кроме этого необходимо использовать уставку коэффициента отношения импедансов системы (SIR), выше которой время срабатывания реле принудительно замедляется на четверть периода. Типовое значение уставки $SIR=30$, ниже которого реле работает на отключение как подпериодное (менее 1 периода) реле. Если же подпитка будет слабой, то фильтр CVT (емкостный ТН) адаптирует реле на замедление в работе и тем самым предотвращает переохват ДЗ в переходном режиме.

2.7.1.2 Емкостные ТН с активным подавлением феррорезонанса

Установите уставку фильтра в значение *“Active” (Активный)* при использовании емкостного трансформатора напряжения типа 1.

2.7.2 Отстройка от нагрузочных режимов

Для повышения стабильности работы дистанционной защиты, особенно на линиях длиной более 150км (90 миль), настоятельно рекомендуется использовать специальное ограничение характеристики для предотвращения попадания импеданса нагрузки в область характеристики при негармонических низкочастотных переходных процессах или при качаниях в сети.

Радиус импеданса должен быть задан меньше чем импеданс самого тяжелого нагрузочного режима, а это часто принимается как 120% допустимой нагрузки линии, кроме этого для учета возрастания нагрузки при перерывах питания или отключения КЗ на параллельной линии необходимо умножить на 2. Кроме этого дополнительный запас, учитывающий погрешности измерений, приводят к тому, что рекомендуемое значение уставки обычно составляет 1/3 (или даже 1/4 как, например, в Великобритании) от импеданса максимального нагрузочного режима.

$$Z \leq (\text{Номинальное напряжение } V_n) / (I_{FLC} \times 3)$$

I_{FLC} – максимальный ток нагрузки

Импеданс нагрузки должен оставаться ниже уставки бета при самом низком коэффициенте мощности. Если предположить, что коэффициент мощности равен при этом 0,85 тогда:

$$\beta \geq \cos^{-1}(0.85) \text{ плюс запас в } 15^{\circ} \geq 47^{\circ}$$

- а для того чтобы дистанционная защита реагировала на КЗ на защищаемой линии, угол $\beta \leq (\text{Угол линии} - 15^{\circ})$.

На практике часто в качестве уставки угла β , используется средний угол между опережающим углом нагрузки (при самом низком коэффициенте мощности) и углом импеданса защищаемой линии.

В MiCOM P54x имеется возможность обходить данное ограничение всякий раз, когда напряжение рассматриваемой фазы снижается ниже уставки минимального напряжения $V<$. В этом случае причиной снижения напряжения не должно быть колебания нагрузки в нормальном режиме работы линии. Отмена зоны ограничения характеристики дистанционного органа для отстройки от нагрузочных режимов должна происходить лишь в случае короткого замыкания на рассматриваемой фазе, что позволяет дистанционным органам действовать на отключение в пределах всей характеристики. Преимуществом этого является повышение способности к обнаружению коротких замыканий с большим переходным активным сопротивлением в начале линии.

Уставка ступени минимального напряжения должна быть ниже минимального фазного напряжения в условиях тяжелого нагрузочного режима, а также при минимальном рабочем напряжении сети. Типовым считается максимальное значение уставки $V<$ равное 70% V_n .

AP

2.7.3 Рекомендуемые уставки напряжения поляризации

Кабельная линия - минимальное использование поляризации по памяти 20% (0,2). Это позволяет избежать того, что расширение характеристики приведет к охвату источника Z_s , которым в большинстве случаев является вышестоящая (расположенная ближе к источнику мощности) линия или трансформатор, угол импеданса которых существенно отличается от угла импеданса кабеля.

Линии с продольной компенсацией – используется характеристика mho с максимальной возможной поляризацией по памяти (уставка = 5). Большая составляющая напряжения поляризации, взятая из памяти, обеспечивает правильную работу реле даже в условиях эффекта отрицательной реактивности компенсирующих конденсаторов наблюдаемого либо в импедансе источника (системы) или в импедансе линии.

Короткие линии - при использовании реле для защита коротких линий протяженностью до 10 миль (16 км) или при коэффициенте системы SIR (отношение реактивного сопротивления к активному) более 15, рекомендуется использовать максимальное значение поляризации (уставка =5). Это обеспечивает достаточное расширение характеристики для обнаружения коротких замыканий с переходным активным сопротивлением (сопротивление дуги).

Общий случай применения - Использование любой уставки в диапазоне от 0,2 до

2.8 Уставки базовой схемы дистанционных органов

Выдержка времени таймера Зоны 1 ($tZ1$) обычно равна нулю, для обеспечения мгновенного действия на отключение.

Выдержка времени таймера Зоны 2 ($tZ2$) должна быть согласована с выдержкой времени Зоны 1 смежной линии. Время отключения КЗ состоит из времени срабатывания Зоны 1 следующей линии плюс время отключения выключателя. Кроме этого необходимо сделать запас на время возврата Зоны 2 после отключения повреждения на смежной линии, а также некоторый запас для надежности. Типовое минимальное время таймера Зоны 2 составляет порядка 200 мс.

Выдержка времени таймера Зоны 3 ($tZ3$) выбирается по тому же принципу что и для таймера Зоны 2, с той разницей, что согласование выполняется с Зоной 2 следующей линии. Типовое минимальное время таймера Зоны 2 составляет порядка 200 мс.

Выдержка времени таймера Зоны 4 ($tZ4$) должна согласовываться с защитами смежных линий работающих в обратном направлении.

Примечание (1): в MiCOM P54x предусмотрена возможность отдельного задания выдержек времени для ступеней дистанционной защиты действующей при междуфазных КЗ и ДЗ действующей при однофазных КЗ. Это может потребоваться, например, в случае необходимости согласования ДЗ от однофазных КЗ с внешними максимальными токовыми защитами от замыканий на землю.

Примечание (2): Любая зона (x) которая может почувствовать КЗ за трансформатором должна иметь некоторое замедление на срабатывание. Это необходимо для предотвращения ложного действия данной зоны от броска тока намагничивания при постановке трансформатора под напряжение. Общее правило для этого случая если $Zx_{(уставка)} > 50\% X_{\text{трансф.}}$, то уставка $tZx \geq 100$ мс. Альтернативным способом предотвращения нежелательного срабатывания данной зоны может быть ее блокирование от детектора 2-й гармоники, сигнал которого доступен для программирования в редакторе логической схемы реле (PSL). Уставки детектора броска тока намагничивания могут быть найдены в колонке меню SUPERVISION (ПРОВЕРКА СИСТЕМЫ).

На рисунке 3 показана типовая схема конфигурации ступеней дистанционной защиты.

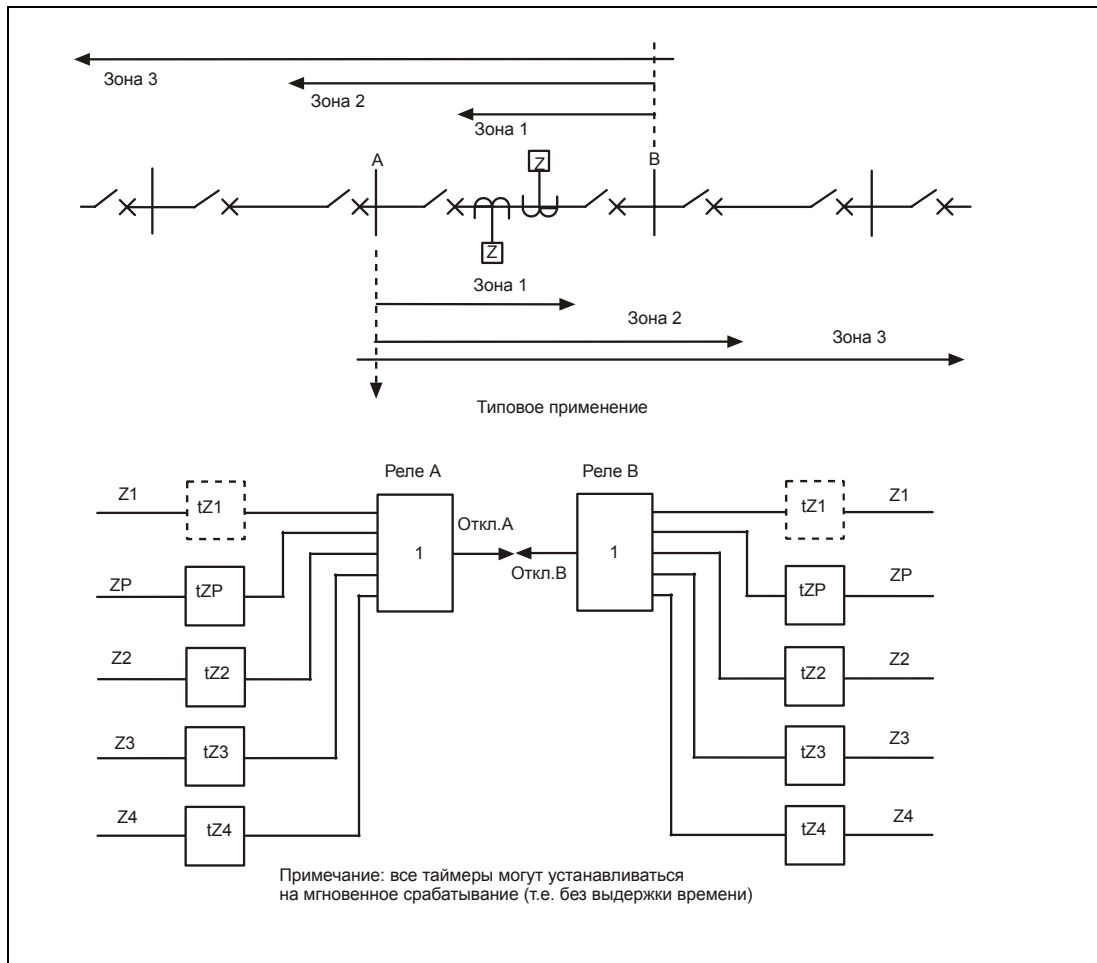


Figure 3: Базовая схема организации схемы дистанционной защиты линии

2.9 Сигнализация и блокировка ДЗ при качаниях мощности

Техника обнаружения качаний мощности, использованная в реле MiCOM P443, имеет существенное преимущество, заключающееся в том, что она адаптивная и не требует от пользователя расчета и задания каких-либо уставок для обнаружения качаний. Метод обнаружения качаний основанный на использовании техники приращений, позволяет обнаружить качания любой частоты. При этом нет необходимости устанавливать какие-либо зоны ограничений характеристик дистанционных органов или задавать характеристики пусковых органов, как это было с прежними моделями реле. Пользователю достаточно ввести в работу детектор обнаружения качаний мощности и выбрать зоны дистанционной защиты, которые необходимо блокировать при качаниях.

Функция блокировки при качаниях (БЛКЧ) имеет два таймера:

PSB Reset Delay (*t ВОЗВПАТА БЛКЧ*) используется для сохранения сигнала обнаружения качаний при минимальных значениях ΔI в цикле качаний (вблизи максимального и минимального значения тока огибающей качаний). Типовое значение уставки составляет 0,2 сек обеспечивает сохранение сработавшего состояния БЛКЧ до появления ΔI вновь.

PSB Unblock Diy (*ДУБЛОК. ЗОН ДЗ*) используется для контроля времени продолжающихся качаний и служит для различия между устойчивыми и неустойчивыми (кратковременными) качаниями. Если по истечении выдержки времени установленной на таймере качания не прекратятся и, следовательно, носят устойчивый характер, то для выбранных пользователем зон блокировка может быть снята (деблокирование зон), предоставляя возможность действия на отключение и

соответственно на деление системы. Если деблокирование зон ДЗ не требуется для данного реле, то на нем задается максимальное значение уставки (10 сек).

Функция блокировки при качаниях может быть выведена полностью, например, при использовании реле в распределительной сети, где качания мощности отсутствуют.

2.9.1 Защита от асинхронного хода

В терминале MiCOMho P443 интегрирована защита от асинхронного режима работы, что позволяет исключить применение отдельного реле специально для этой цели. В отличие от функции блокировки при качаниях, защита от асинхронного хода требует задания уставок поскольку является полностью независимой от БЛКЧ.

В данном разделе приводится описание функции защиты от асинхронного хода и рекомендации по выбору уставок.

Для данной функции должны быть использованы уставки, базирующиеся на расчете режимов сети, поскольку, при использовании режима работы "Predictive OST"(ОТКЛ.ОТ УСКОР.АПАХ) (Предупредительное прекращение/отключение асинхронного режима), требуется высокая точность уставок позволяющая избежать преждевременного деления системы в случае глубоких качаний мощности, которые не ведут к асинхронной работе частей системы. Для выбора уставок режима "OST" (ОТКЛ.ОТ АПАХ) (Отключение при асинхронном режиме работы) может быть использован тот же метод, однако для этого не требуется проводить глубокий анализ устойчивости системы, поскольку, как будет показано далее, для реле назначенного для работы по этому сценарию, достаточно задать лишь полный импеданс системы ZT и точку деления системы.

2.9.2 Угол нарушения устойчивости

Каким должен быть угол (θ) между ЭДС источников мощности (генераторов) по концами линии, при котором в режиме качаний мощности можно сделать вывод о том, что наступает асинхронный режим?

Рассмотрим график изменения передаваемой мощности в зависимости от угла θ , приведенный на рис. 4.

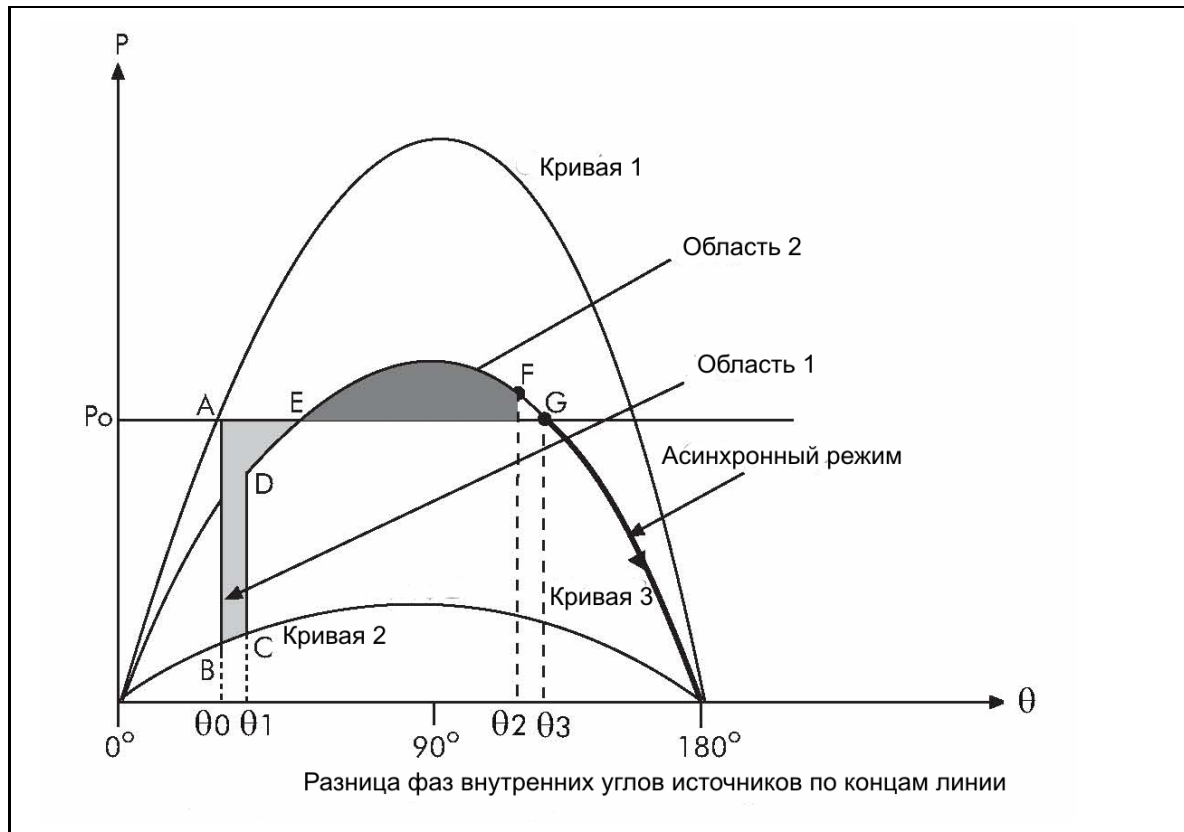


Figure 4: Зависимость передаваемой мощности от угла θ между концами линии

На приведенном рисунке показано изменение кривой передаваемой мощности при изменении режимов работы сети (работа АПВ не рассматривается):

- Кривая 1 - Доаварийный режим работы системы (параллельная линия в работе) при передаче мощности P_0
- Кривая 2 - Снижение предела передаваемой мощности в результате возникновения двухфазного КЗ на землю
- Кривая 3 - Передаваемая мощность после отключения параллельной линии (локализация КЗ)

Из графика видно, что в момент возникновения короткого замыкания рабочая точка из А перемещается в точку В, на кривую с более низким пределом передаваемой мощности. Следовательно, на конце линии, с которого мощность передается в линию, возникает избыток мощности $\Delta P = AB$ и соответствующий дефицит на принимающем конце. На передающем конце электрические машины начинают разгоняться, а на приемном конце тормозиться. В результате этого рабочая точка перемещается вдоль кривой 2 и до того как короткое замыкание будет локализовано, угол θ возрастет и примет значение θ_1 . После локализации КЗ (отключения параллельной линии) предел передаваемой мощности возрастет и рабочая точка переместится на кривую 3, в точку D. Поскольку на прежнем конце линии по-прежнему имеется избыток мощности, рабочая точка перемещается по кривой 3. Если в какой-то момент времени между точками E и G (точка F) электрические машины будут вращаться с одной скоростью, рост угла θ прекратится. Согласно критерию равенства областей, это произойдет тогда, когда область 2 будет равна области 1. Машины передающего конца начнут замедляться, а электрические машин принимающего конца начнут ускоряться. Следовательно, разность фаз начнет уменьшаться и рабочая точка устремится в точку E. После того, когда по инерции точка E вновь будет пройдена на передающем конце вновь возникнет избыток мощности, и, соответственно дефицит мощности на принимающем конце линии. В результате чего машины передающего конца вновь начнут ускоряться и, соответственно, будут замедляться машины принимающего

конца. В идеальном случае, т.е. при отсутствии потерь мощности, колебания будет продолжаться вокруг точки E. Однако на практике, после нескольких циклов, качания мощности затухают и рабочей точкой становится точка E.

Резюмирую вышесказанное, система сохраняет устойчивость (т.е. не переходит в асинхронный режим работы) если область 1 меньше чем область 2. И наоборот, если рабочая точка проходит далее точки G, то угол продолжает возрастать, устойчивость системы нарушается и наступает асинхронный режим работы. Колебания мощности, носящие устойчивый (необратимый) характер, принято называть нарушением синхронного режима работы или асинхронным режимом работы. В этих условиях необходимы специальные мероприятия по восстановлению синхронного режима системы, одним из которых является деление сети в заранее определенных точках.

На рисунке 6 точка G имеет угол θ примерно 120° , однако, это не может быть одинаковым во всех случаях. Если, например, в доаварийном режиме уровень передаваемой мощности (P_0) был высоким, а время локализации КЗ достаточно продолжительным, то площадь области 1 будет больше и для восстановления устойчивого режима работы системы угол θ будет близок к 90 градусам. Напротив, если уровень мощности передаваемой в доаварийном режиме был не высоким и время отключения КЗ достаточно малым, то площадь области 1 будет также небольшой, тогда базирясь на принципе сравнения площади областей, угол θ может приближаться к 180 градусам, а устойчивость работы системы не нарушится.

Фактический угол, при котором наступает нарушение устойчивости системы может быть определен только путем детального анализа режимов работы системы, однако, при выборе уставки угла, для случая использования режима 'OST' (отключение при переходе в асинхронный режим), превышение которого ведет к нарушению устойчивости системы, рекомендуется использовать значение 120 градусов.

2.9.2.1 Рекомендации по выбору режимных уставок

В терминале предусмотрено 4 различных режимных уставки:

1. *Disabled* (АПАХ ВЫВЕДЕН)
2. *Predictive OST* (ОТКЛ. ОТ УСКОР. АПАХ)
3. *OST* (ОТКЛ. ОТ АПАХ)
4. *Predictive OST or OST* (ОТКЛ.УСК.АПАХ + АПАХ)

Использовать **Опцию 1** для всех линий кроме тех, на которых требуется отключение при возникновении незатухающих колебаний мощности или в системах, где не возникают глубоких качаний мощности – чаще всего в системах с многочисленными параллельными связями и использующими трехполюсные отключения выключателей.

Опция 2 (и 4) являются наилучшими с системной точки зрения, однако в прошлом данные опции не получили широкого распространения. Некоторые энергосистемы предпочитают деление системы на ранней стадии для минимизации расхождения углов между источниками и тем самым повышения шансов сохранения стабильности в разделившихся частях системы. При использовании данного способа, следует обратить особое внимание на то, чтобы момент отключения выключателя выбранного для деления системы не совпал противофазой внутренних углов разделяемых источников. Это необходимо потому что большинство выключателей не рассчитываются на отключение при двойном номинальном напряжении, и всякая попытка отключения в этих условиях приведет к перекрытию изоляции и возможному повреждению выключателя. Является фактом то, что в основном будут использоваться уставки Опция 2 (и 4) для обнаружения и отключения качаний мощности с малым периодом качаний. Если при этом будет использован выключатель с временем отключения в два периода, то за время отключения выключателя фазы напряжений источников могут разойтись в противоположные стороны. Следовательно, если выбрана данная опция уставки, необходимо принимать во внимание вышеизложенное

условие, для предотвращения отключения выключателя в момент, когда разность фаз напряжений между разделяющими источниками не приблизилась к 180 градусам.

Использование **Опции 3** является наиболее частым подходом к решению проблемы. При наступлении асинхронного режима команда функции OST делит систему в заранее заданных точках. Некоторым недостатком данного метода по сравнению с выбором Опции 2 (или 4) является то, что качания мощности продолжают развиваться, чем усугубляют проблему для разделившихся частей системы в отношении сохранения устойчивости. Преимуществом можно считать тот факт, что момент срабатывания выключателя (угол, при котором происходит отключение) легко контролируется и решение на разделение системы правильно, даже если были допущены ошибки в анализе режимов системы или задании уставки функции. Дополнительная надежность в работе функции, достигается измерением и подтверждением изменения полярности резистивной части импеданса прямой последовательности на выходе из зоны 5 (возврат).

Выбор **Опции 4** обеспечивает 2 ступени для обнаружения асинхронного режима и отключения. Если происходят качания мощности с высокой частотой, то комбинация уставок ΔR и дельта I (как обсуждалось выше) должна быть задана таким же образом как для работы в режиме 'Predictive OST'. Если же частота колебаний мощности меньше, то условия заданные для режима 'Predictive OST' не выполняются и, следовательно, работает 'OST' позднее, после возврата сигнала Z5, при условии, что обнаружено изменение полярности резистивного компонента импеданса прямой последовательности. Это необходимо для различия между низкочастотными незатухающими (устойчивыми) и затухающими качаниями мощности.

AP

2.9.2.2 Определение границ зон отстройки от импеданса нагрузочного режима

Рассмотрим характеристики функции обнаружения асинхронного режима в зависимости от угла θ по концам линии.

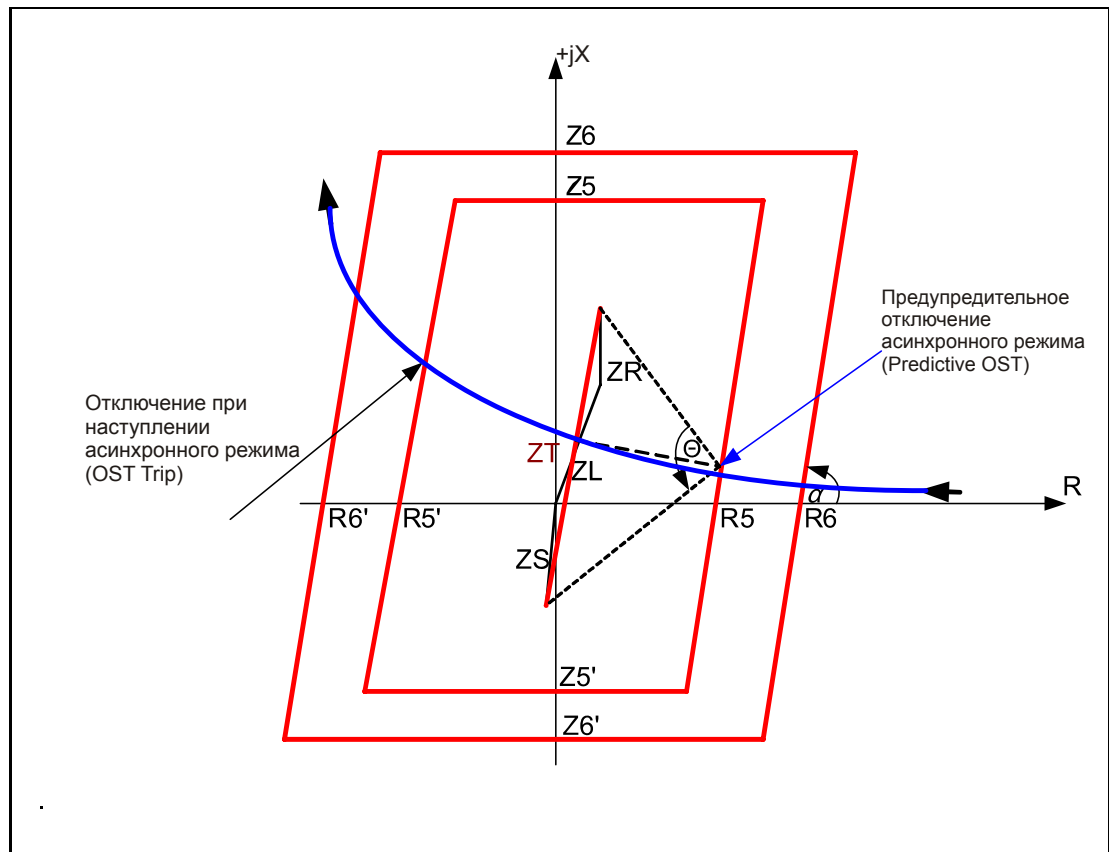


Figure 5: Определение уставки для резистивного компонента прямой последовательности R5

Прежде всего, определяется минимальный охват R5

Из рисунка 5 видно что:

$$R5_{\min} = \frac{\frac{ZT}{2}}{\tan \frac{\theta}{2}}$$

Где ZT – полный импеданс системы прямой последовательности, который равен ZS+ZL+ZR. Где ZS и ZR – импедансы прямой последовательности источников на конце линии где мощность поступает от шин в линию (ZS) и на приемном конце (ZR) где мощность поступает от линии к шинам, а ZL – импеданс линии прямой последовательности. 'θ' – максимальная разность фаз между внутренними углами (ЭДС) источников на передающем и принимающем концах линии, при которой еще возможно сохранение устойчивости системы.

На следующем этапе необходимо определить максимальное (граничное) значение для резистивного охвата R6 (на выходе из области характеристики). При этом необходимо выполнить условие чтобы точка A на рис. 6 не попадала в область нагрузки при самом неблагоприятном предполагаемом коэффициенте мощности 0,85 и при минимально возможном угле α импеданса ZT.

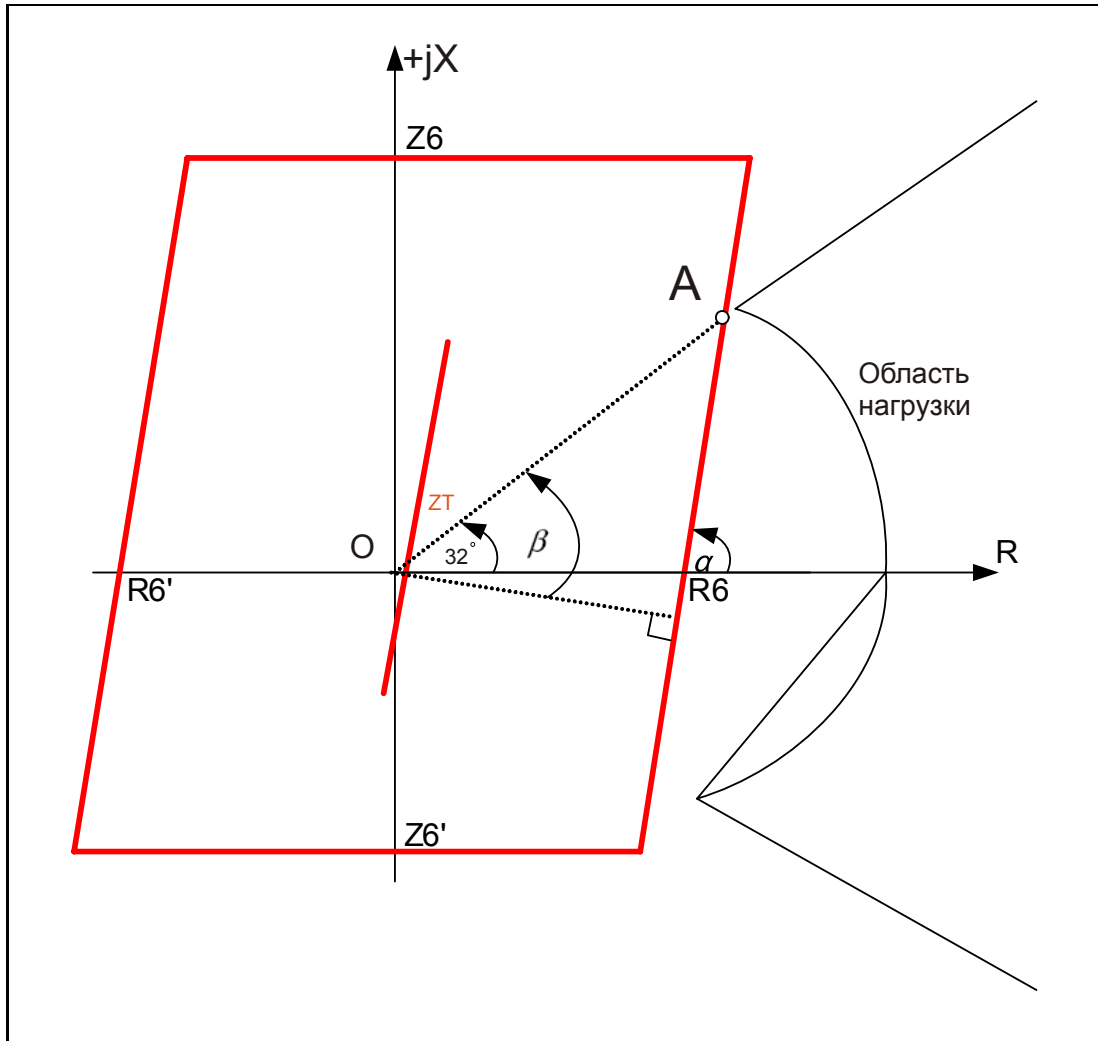


Figure 6: Определение максимального значения $R6_{MAX}$

$$\beta = 32 + 90 - \alpha$$

$$Z_{\text{нагр. мин.}} = OA$$

$$R6_{\text{max}} < Z_{\text{нагр. мин.}} \times \cos \beta$$

Где:

- $Z_{\text{нагр. мин.}}$ - расчетный радиус минимального импеданса нагрузки с учетом необходимого запаса для отстройки
- 32 градуса – угол нагрузки соответствующий низкому коэффициенту мощности 0,85
- α - угол луча ограничения характеристики (для отстройки от нагрузки) который соответствует углу ZT

Уставка отрицательного сопротивления $R5'$ должна быть равна положительной величине $R5$ для обеспечения работы в режиме импорта (приема) нагрузки. Принимая во внимание граничные значения уставок $R5_{MIN}$ и $R6_{MAX}$, фактические значения уставок $R5$ и $R6$ (включая значения $R5'$ и $R6'$) должны быть установлены в сочетании с уставкой 'Delta t' (рассматривается далее).

Примечание: значение $R6_{MAX}$ должно быть больше чем максимальный резистивный охват любой из ступеней дистанционной защиты для обеспечения корректного пуска таймеров 25 мс и 'Delta t'. Однако резистивный охват $R5_{MIN}$ может быть задан меньше максимального резистивного охвата зон ДЗ (т.е. в пределах характеристики ДЗ) если для ДЗ требуется

экстенсивный (расширенный) резистивный охват. Это означает, что защита от асинхронного хода не вносит ограничений на применение четырехугольных характеристик ДЗ.

Установка линий реактансов Z5 и Z6 зависит от того, как далеко от местоположения реле необходимо чувствовать качания мощности. Обычно, на основе анализа режимов работы системы определяется лишь одна точка деления системы. По этой причине защита от асинхронного режима работы должна быть введена в работу в этой точке сети и выведена в остальных реле системы. Уставки Z5' – Z5 и Z6' – Z6 должны быть заданы такими, чтобы полностью охватывать полный импеданс системы ZT, как показано на рис. 7. Типовыми значениями уставок могут быть следующие величины:

$$Z5 = Z5' = \frac{1}{2} \times ZT = ZT$$

Точность задания уставок Z6 и Z6' не имеет большого значения, и они быть заданы: $Z6 = Z6' = 1.1 \times Z5$.

2.9.2.3 Расчет уставок Delta t, R5 и R6

Значения R5_{MIN} и R6_{MAX}, определенные выше, являются лишь предельными величинами, фактически задаваемые значения уставок R5 и R6 должны быть определены в соотношении с уставкой таймера 'Delta t'.

Уставки для режима **Predictive OST** (Предупредительное отключение асинхронного режима):

- Установить R6 (и R6') равным R6_{MAX}
- Установить R5 насколько возможно близко к R6_{MAX}, исходя из практики

Целью смещения уставки R5 вправо является определение качаний мощности с малым периодом как можно быстрее, для того чтобы иметь запас времени для работы выключателя до того как напряжения источников не оказались в противофазе. Единственным ограничением является минимальная выдержка времени, устанавливаемая на таймере 'Delta t' (ДЕЛЬТА t БЛКЧ), составляющая 30 мс и скорость (период) качаний. Установите уставку таймера 'Delta t' таким образом, чтобы выполнялось следующее условие:

Выдержка таймера 'Delta t' (ДЕЛЬТА t БЛКЧ) не должна истечь раньше чем импеданс прямой последовательности не покинет зону R6-R5.

Для выбора данной важно знать скорость изменения импеданса при качаниях при прохождении зоны R6-R5 и, следовательно, она должна базироваться на анализе режимов работы сети.

Предположение о том, что скорость изменения импеданса прямой последовательности при прохождении зоны R6-R5 является средней скоростью всего цикла качаний, является ошибочным и может легко привести к некорректной работе функции в режиме 'Predictive OST' (ОТКЛ.УСКОР.АПАХ).

Следует помнить, что при коротком замыкании зона R6-R5 будет пройдена быстрее 25 мс, и, следовательно, даже очень быстрые качания мощности с частотой 7 Гц не будут ошибочно восприняты как возникновение короткого замыкания, а значит 'Predictive OST' не работает.

Уставки для режима 'OST' (Отключение при возникновении асинхронного режима):

При выборе опции уставки 'OST' точное задание лучшей характеристики для отстройки от режимов нагрузки и уставки таймера 'Delta t' не требуется по следующим причинам:

Чем шире зона ΔR и чем меньше время Δt, тем успешнее будут обнаружены качания. Единственным условием является то, что импеданс короткого замыкания должен пройти зону ΔR быстрее, чем истечет выдержка Δt.

Тогда, исходя из того что $\theta = 120^{\circ}$, для режима 'OST' (ОТКЛ.ОТ АПАХ) задаются следующие уставки:

- $R5 = R5' = R5_{\text{MIN}} = ZT/3.46$
- $R6 = R6' = R6_{\text{MAX}}$
- $\text{Delta } t = 30 \text{ мс}$

Дело в том, что данная выдержка таймера 'Delta t' (ДЕЛЬТА t БЛКЧ) всегда истекает раньше, чем импеданс при качаниях покинет зону ΔR , следовательно, приведенные выше значения уставок обеспечивают обнаружение качаний в широком диапазоне колебаний, начиная от самых медленных, которые могут быть вызваны затухающими качаниями, до самых быстрых колебаний мощности с частотой 7 Гц. Следует также отметить, что импеданс при коротком замыкании пройдет зону R6-R5 быстрее минимальной уставки таймера 'Delta t' (ДЕЛЬТА t БЛКЧ) равной 30 мс.

Уставки для режима 'Predictive OST or OST' (Предупредительное отключение асинхронного режима или Отключение при возникновении асинхронного режима):

То же, как указано выше для режима 'Predictive OST' (ОТКЛ. ОТ УСКОР АПАХ).

2.9.2.4 Задержка на отключение tOST (t ОТКЛ. ПРИ КАЧ.)

Выдержка времени таймера 'tOST' (отключение при возникновении асинхронного режима) должна задаваться нулевой при выборе уставок Опции 2 и 4.

При выборе уставки Опция 3, выдержка времени таймера 'tOST' (t ОТКЛ. ПРИ КАЧ.) должна задаваться равной нулю. Единственным исключением использования выдержки временем может быть случай, когда пользователь желает назначить срабатывание выключателя при угле близком к 360° (т.е. когда напряжения разделяемых источников системы находятся в одной фазе).

2.9.2.5 Уставка угла луча ограничения характеристики для отстройки от нагрузки

Установить уставку угла α такой же, как угол импеданса системы (ZT).

2.9.2.6 Работа функции защиты от асинхронного хода на линиях с последовательной компенсацией

Максимальное значение тока в режиме асинхронного хода редко превышает значение $2 \times I_n$ (эфф.), что соответствует минимальному значению импеданса качаний проходящего через область характеристики дистанционного органа Зоны 1. Поскольку метал-оксидные варисторы (MOV) рассчитаны на шунтирование при токах 2-3In, они не срабатывают при качаниях мощности и, следовательно, в большинстве случаев не оказывают влияние на работу функции защиты от асинхронного хода.

Рассмотрим самый тяжелый случай, когда колебания мощности вызваны локализацией внешнего КЗ путем отключения параллельной линии. В этом случае примерно удвоенный ток нагрузки начнет протекать по оставшейся линии, и, продолжая увеличиваться, очевидно, превысит порог срабатывания метал-оксидных варисторов (MOV). Поскольку зона R6-R5 обычно находится далеко от характеристики Зоны 1, шансы на то, что траектория импеданса прямой последовательности может войти и выйти из заданной зоны ΔR в результате срабатывания метал-оксидных варисторов (MOV), невелики. Если MOV действительно срабатывает в момент прохождения зоны ΔR (см. рис. 9), то запущенный таймер может вернуться и запуститься повторно или же импеданс будет оставаться в зоне ΔR несколько больше времени. Это происходит потому, что во время работы MOV к измеряемому импедансу добавляются резистивная и емкостная составляющие как показано на рис.8. Этот

эффект может оказать влияние на измерение 'Delta t' в случае использования режима 'Predictive OST'. Если последовать рекомендации и установить уставку $R5_{\text{MIN}}$ насколько это практически возможно к $R6_{\text{MAX}}$, то шансы на то, что ток качаний превысит порог срабатывания MOV в то время когда импеданс находится в пределах зоны ΔR очень незначительны. Если анализ режимов работы энергосистемы показывает, что метал-оксидные варисторы (MOV) могут сработать в момент нахождения импеданса в области ΔR , то рекомендуется установить режим 'Predictive OST and OST' (Предупредительное отключение асинхронного режима и Отключение при наступлении асинхронного режима), для того чтобы учесть все возможные ситуации.

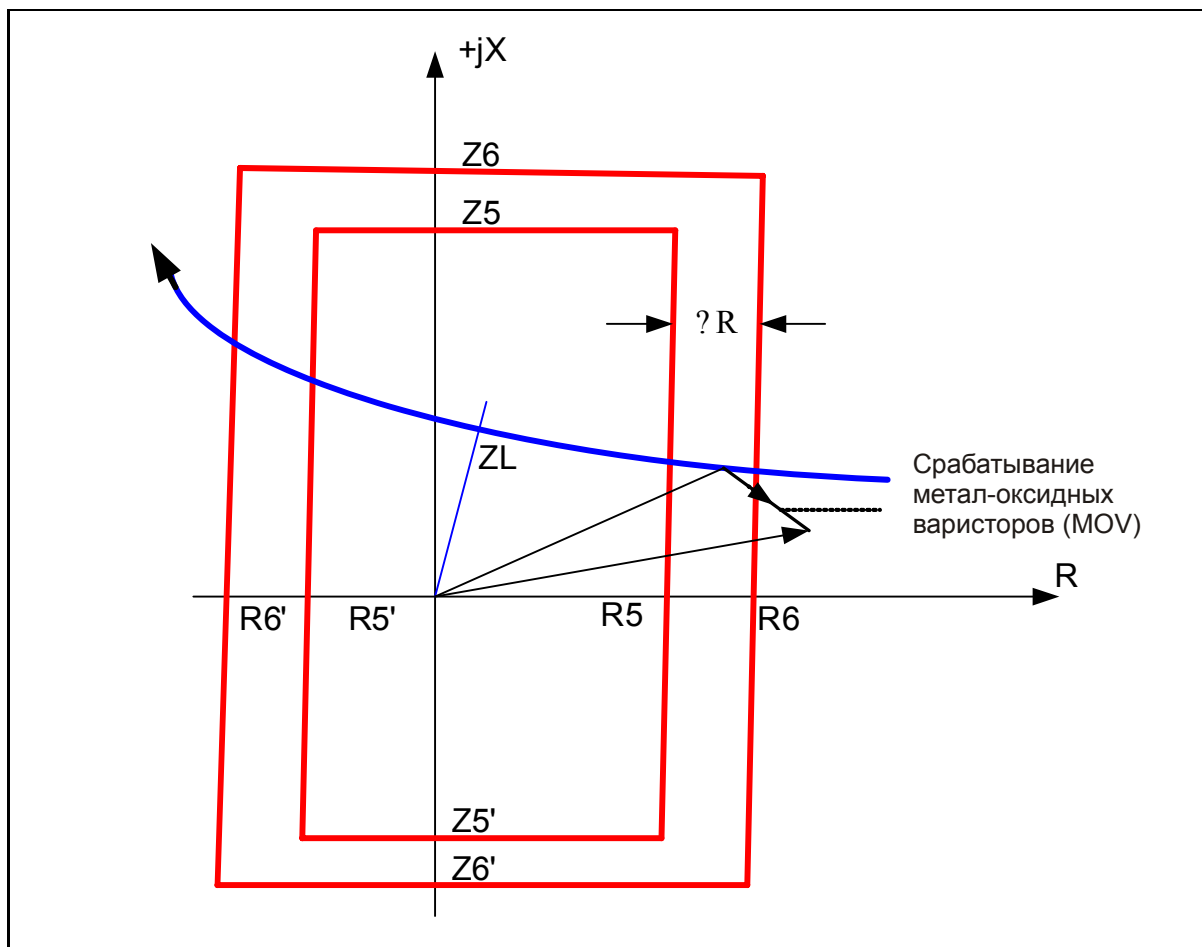


Figure 7: Пример сброса таймера в результате срабатывания метал-оксидного варистора (MOV)

Следует отметить, при выборе в качестве уставки режим 'OST' (ОТКЛ. ОТ АПАХ), в конце концов истечет выдержка времени запущенного таймера (Delta t) (ДЕЛЬТА t БЛКЧ), если продолжают качания мощности, и, следовательно, в этом случае срабатывание метал-оксидных варисторов (MOV) не оказывает влияния на работу функции защита от асинхронного режима.

2.10 Ускорение при включении на повреждение (SOTF) и отключение после АПВ (TOR)

2.10.1 Режим ручного включения на повреждение (ВПОВ)

Для обеспечения быстрого отключения короткого замыкания (например, в результате включения выключателя на заземленную линию) при постановке линии под напряжение, рекомендуется ввести в работу данную функцию и выбрать требуемые зоны ДЗ для работы в данном режиме.

Задержка ВКПОВ (t_{SOTF}) – заданная выдержка времени должна быть больше времени бестоковой паузы самого длительного цикла АПВ, но в тоже время меньше времени ручного повторного включения выключателя оператором сети после отключения его от защит. В качестве типового значения уставки рекомендуется установить значение 110 сек.

Импульс ВКПОВ ($SOTF_{pulse}$) – типовое значение уставки составляет 500 мс. Этого времени вполне достаточно для полного восстановления напряжения в памяти дистанционной защиты.

$t_{BOЗBP}$. ТОС (TOC reset delay) - типовое значение уставки составляет 500 мс (выбрана из условия превышения времени 16 периодов необходимых для поляризации по памяти, допускается полная зарядка памяти до восстановления нормального режима защиты).

2.10.2 Отключение при повторном автоматическом включении

Для гарантированно быстрого отключения коротких замыканий при восстановлении напряжения на линии, рекомендуется ввести в работу данную функцию с выбором зон ДЗ допущенным к срабатыванию в данных условиях. Данная функция активируется через 200 мс после любого отключения выключателя.

$t_{BOЗBP}$. ТОС (TOC reset delay) - типовое рекомендуемое значение уставки составляет 500 мс (так же как и для ВКПОВ)

2.11 Направленная ЗНЗ – выбор конфигурации и режимы выбора направления

2.11.1 Поляризация НЗНЗ (DEF) по параметрам нулевой последовательности

Поляризация DEF по параметрам нулевой последовательности

На практике в нормальном режиме напряжение нулевой последовательности (V_0) может быть порядка 1% от номинального напряжения (т.е. $3V_0$ составляет 3%), а погрешность трансформатора тока порядка 1%. Типовая уставка поляризации напряжением нулевой последовательности $V_{Npol Set}$ (УСТ.НАПР.ПОЛ. VN) обычно находится в пределах от 1% до 4% V_n , для отстройки от небаланса нормального режима. Для облегчения выбора данной уставки могут быть использованы результаты измерения остаточного напряжения ($3V_0$) в нормальном режиме работы сети. При выполнении наладочных работ измерения могут быть выведены на дисплей реле в колонке меню “Measurements” (Измерения). Функция виртуальной токовой поляризации формирует всегда большое значение напряжения V_{Npol} , независимо от фактически имеющегося на входе реле напряжения VN.

В функции DEF предполагается что, вектор тока нулевой последовательности при однофазном замыкании отстает по фазе от напряжения нулевой последовательности выбранного для поляризации (определение направления). Следовательно, для такого использования DEF требуется задать отрицательное значение характеристического угла (угол максимальной чувствительности). Значение угла задается в ячейке ‘DEF

Char Angle' (Fi M.Ч. DEF) (Характеристический угол направленной ЗНЗ) в соответствующем меню уставок ЗНЗ.

При использовании напряжения нулевой последовательности для целей поляризации (определения направления мощности нулевой последовательности) рекомендуется использовать следующие значения характеристических углов (RCA):

Распределительные сети (с глухозаземленной нейтралью) $\Rightarrow -45^{\circ}$

Магистральные сети (с глухозаземленной нейтралью) $\Rightarrow -60^{\circ}$

2.11.2 Поляризация НЗНЗ (DEF) по параметрам обратной последовательности

При использовании поляризации напряжением обратной последовательности, уставка характеристического угла реле (RCA) должна базироваться на угле импеданса вышестоящего источника мощности. Типовое значение уставки составляет -60° .

2.11.3 Общие рекомендации по выбору уставок функции DEF (направленная защита от замыканий на землю)

DEF threshold (УСТ I DEF) (пороговое значение тока направленной ЗНЗ) – данная уставка определяет чувствительность по току ЗНЗ с использованием канала связи. Данная уставка должна быть больше чем возможный небаланс тока нулевой последовательности ($3I_0$) присутствующих при нормальном режиме работы сети. Типовое значение уставки от 10% до 20% I_n .

При этом нет необходимости задавать пороговое значение для детектора обратного направления, поскольку он имеет фиксированную уставку, равную половине уставки детектора прямого направления DEF (т.е. в два раза чувствительнее).

2.11.4 Принцип работы органа направления по направлению и уставка

Для выбора направления по приращениям уставка характеристического угла (м.ч.) должен базироваться на средней величине угла системы + угол импеданса линии при КЗ в любой точке линии или внешнего по отношению к защищаемой линии. Типовым значением уставки "Delta Char Angle" (угол. м.ч. по приращениям) можно считать величину 60° , поскольку для этого не требуется точное значение уставки. Поскольку при возникновении КЗ, фаза тока приращения практически никогда не совпадает с углом максимальной чувствительности органа направления мощности, примерное значение уставки можно считать вполне приемлемым.

2.11.5 Защита на принципе сравнения направлений по приращениям параметров – выбор уставок ΔI и ΔV

Для выбора наиболее оптимального режима работы предлагается установить уставку приращения тока для определения направления вперед (Delta I Fwd) в пределах от 10 до 20% I_n . Это должно обеспечить надежную работу при всех видах коротких замыканий, при условии, что ток замыкания на землю вблизи удаленного конца линии генерирует, по крайней мере, эту величину приращения. Выбор корректной уставки приращения напряжения для определения направления вперед (Delta V Fwd) выполняется с использованием следующей таблицы (SIR = отношение импеданса источника к импедансу линии):

Минимальное отношение: импеданс источника/импеданс линии (SIR)	Рекомендуемая уставка ΔV Fwd (в % от V_n)
≥ 0.3	4%
≥ 0.5	6%
≥ 1	9%
≥ 2	13%
≥ 3	15%
≥ 5	17%
≥ 10	19%
25 – 60	21%

Для определения направления в обратном направлении (к шинам) уставки органа определения направления мощности КЗ должны быть более чувствительными, поскольку они используются для блокировки отключения, а также в органе контроля реверса тока. Рекомендуется устанавливать уставки всех органов определения обратного направления на уровне от 66 до 80% от уставки органа определения направления вперед. Типовые значения уставок:

- ΔV Rev = ΔV Fwd \times 0.66
- ΔI Rev = ΔI Fwd \times 0.66

Данный подход к выбору уставок совпадает с хорошо зарекомендовавшим себя терминалом защиты LFDC ранее выпускавшимся компанией AREVA T&D.

Следует учитывать, что приращения параметров (Delta) присутствуют только в течение 2 периодов с момента возникновения повреждения. Если введен в работу какой либо из дистанционных органов, то это ведет к тому что автоматически фиксируется (запоминается) срабатывание органа направления вперед или назад вплоть до момента локализации повреждения в системе. Таким образом, как минимум одна (или несколько зон) дистанционная зона должна быть введена как детектор повреждения. В этом случае неважно, какая выдержка времени установлена на таймере (таймерах) данной зоны (зон) – а именно, это может быть либо требуемая выдержка времени для этой зоны ДЗ либо максимальная уставка (10 сек), если от этой зоны не требуется действие на отключение. Как минимум должна быть введена Зона 3, со смещением в обратном направлении обеспечивающим фиксацию детектора обратного направления (Delta Rev), а уставка охвата в прямом направлении должна обеспечивать фиксацию детектора прямого направления по приращениям (Delta Fwd). Практически применяемые уставки охвата могут быть следующими:

- Zone 3 Forward (Вперед) Уставка, по меньшей мере, как типовая уставка Зоны 2 (120 – 150% от длины защищаемой линии)
- Zone 3 Reverse (Обратно) Уставка, по меньшей мере, как типовая уставка Зоны 4, или как дополнительная область, путем использования самой Зоны 4, если использование большого смещения для Зоны 3 является неприемлемым.

При использовании в качестве пусковых органов предпочтительно использовать характеристики типа Mho, хотя вполне приемлемо использовать четырехугольные характеристики дистанционных органов. Поскольку пусковые органы при использовании характеристик Mho имеют большой радиус, настоятельно рекомендуется использовать опции отстройки от импеданса нагрузочного режима.

2.12 Схемы защиты с использованием канала связи

Терминалы MiCOMho P443 предлагают два набора схем с использованием канала связи, которые могут работать параллельно.

Схема телеускорения 1 – может управляться сигналами от ДЗ и/или от НЗНЗ (DEF) и/или от защиты на принципе сравнения направлений по приращениям параметров

Схема телеускорения 2 – может управляться сигналами от ДЗ и/или от НЗНЗ (DEF) и/или от защиты на принципе сравнения направлений по приращениям параметров

Если обе схемы используют один и тот же (общий) канал связи между полуккомплектами защиты, то обоими должен использоваться одинаковый принцип ускорения защиты – т.е. либо ОБЕ схемы с использованием разрешающего принципа с переохватом, либо ОБЕ с использованием блокирующей логики.

2.12.1 Схема ускорения ДЗ по принципу – разрешающее телеотключение с недоохватом (PUR)

Данная схема аналогична той, что используется в дистанционных реле LFZP Optimho, SHNB Micromho, LFZR и MiCOM P44x (см. примечание 1).

Примечание 1: соответствует уставке выбора схемы PUP Z2 в реле P441/P442/P444).

В данной схеме разрешается мгновенное (без выдержки времени) отключение от измерительного органа Z2 при получении сигнала с противоположного конца линии.

Логика посылки разрешающего сигнала: Срабатывание дистанционного органа Z1

Логика разрешения отключения: Срабатывание дистанционного органа Z2 плюс разрешающий сигнал с противоположного конца линии.

Для отключения без выдержки времени уставка таймера “Dist dly” (ТЕЛ.1(2) t ДИСТ.) должна быть задана равной нулю.

2.12.2 Схема ускорения ДЗ по принципу – разрешающее телеотключение с переохватом (POR)

Данная схема аналогична той, что используется в дистанционных реле LFZP Optimho, SHNB Micromho, LFZR и MiCOM P44x (см. примечание 2).

Примечание 2: соответствует уставке выбора схемы POP Z2 в реле MiCOM P441/P442/P444 и POR2 в LFZP/LFZR).

Следует отметить, что схема POR также может использовать направленный в обратную сторону (к шинам) дистанционный орган Зоны 4, в качестве детектора обратного направления КЗ. Это используется в логике реверса тока и логике эхо-сигнала для случая конца со слабым питанием (опция).

Логика посылки разрешающего сигнала: срабатывание дистанционного органа Z2

Логика разрешения отключения: Срабатывание дистанционного органа Z2 плюс разрешающий сигнал с противоположного конца линии.

Для отключения без выдержки времени уставка таймера “Dist dly” (ТЕЛ.1(2) t ДИСТ.) должна быть задана равной нулю.

2.12.3 Схема разрешающего переохвата логики отключения конца со слабым питанием

При использовании логики отключения конца со слабым питанием, типовым значением уставки по напряжению считается 70% от номинального напряжения фаза – нейтраль. Отключение конца линии со слабым питанием выполняется с задержкой устанавливаемой на таймере “WI Trip Delay” (WI t ОТКЛ.), которая обычно устанавливается равной 60 мс.

2.12.4 Схемы ускорения ДЗ с использование логики блокирования

Данная схема ускорения ДЗ должна иметь небольшую выдержку времени на отключение, превышающую время передачи блокирующего сигнала по каналу связи. Выдержка времени таймера “Dist dly” (ТЕЛ.1(2) t ДИСТ.) **должна** быть рассчитана следующим образом:

Рекомендуемое значение уставки “Dist dly” (ТЕЛ.1(2) t ДИСТ.) = Максимальное время на передачу сигнала на удаленный конец линии + запас в 1 период промышленной частоты

Данная схема аналогична той, что используется в дистанционных реле LFZP Optimho, SHNB Micromho, LFZR и MiCOM P44x (см. примечание 3).

Примечание 3: соответствует уставке выбора схемы BOP Z2 в реле MiCOM P441/P442/P444).

Логика посылки блокирующего сигнала: срабатывание дистанционного органа Z4 (направленной в сторону шин подстанции)

Логика разрешения отключения: Срабатывание дистанционного органа Z2 плюс отсутствие блокирующего сигнала с противоположного конца линии в течении задержки отключения (упомянутой выше).

Следует отметить, что существуют два варианта ускорения ДЗ с использованием блокирующего сигнала. Это Blocking 1 (БЛОКИРОВКА 1) и Blocking 2 (БЛОКИРОВКА 2). Обе схемы работают идентично, за исключением различия в использовании таймера контроля реверса тока. Схема Blocking 2 (БЛОКИРОВКА 2) может в некоторых случаях обеспечить более быстрое деблокирование отключения при переходе короткого замыкания из внешнего во внутреннее и, следовательно, обеспечивает более быстрое отключение повреждения.

2.12.5 Контроль реверса тока в разрешающей схеме с переохватом

Рекомендуемое значение уставки:

tREVERSAL GUARD (t КОНТРОЛЬ РЕВЕРСА) = максимальное время возврата схемы передачи сигнала на удаленный конец линии + 35 мс

2.12.6 Контроль реверса тока в блокирующей схеме

Рекомендуемое значение уставки:

- При использовании дуплексного канала связи:

tREVERSAL GUARD (t КОНТР. РЕВЕРСА) = максимальное время передачи сигнала на удаленный конец линии + 20 мс

- При использовании симплексного канала связи:

tREVERSAL GUARD (t КОНТР. РЕВЕРСА) = максимальное время передачи сигнала на удаленный конец - минимальное время возврата схемы передачи сигнала + 20 мс.

2.12.7 Направленная ЗНЗ (DEF) с использованием канала связи – разрешающая схема с переохватом

Схема защиты с передачей разрешающего сигнала по каналу связи и перехватом линии (POR) аналогична схемам, использованным во всех других реле производства AREVA T&D.

Логика посылки сигнала: Срабатывание пускового органа 'IN> Forward' (Вперед)

Логика разрешения отключения: Срабатывание 'IN> Forward' (Вперед) + прием разрешающего сигнала с удаленного конца линии.

Примечание: Выдержка времени на отключение при использовании логики разрешения отключения, обычно устанавливается равно нулю.

2.12.8 Направленная ЗНЗ (DEF) с использованием канала связи – блокирующая схема

Схема защиты с ожиданием блокирующего сигнала (при внешнем КЗ) аналогична схемам, использованным во всех других реле производства AREVA T&D.

Логика посылки (блокирующего) сигнала: Определение направления КЗ в сторону шин (DEF Reverse)

Логика разрешения отключения: Срабатывание 'IN> Forward' (Вперед) + отсутствие блокирующего сигнала с удаленного конца линии (Channel NOT Received) в течение времени таймера ожидания.

Данная схема ЗНЗ использующая канал связи **должна** иметь небольшую выдержку времени на отключение, превышающую время передачи блокирующего сигнала по каналу связи. Выдержка времени таймера задержки отключения рассчитывается следующим образом: Рекомендуемое значение таймера ожидания = максимальное время необходимое для передачи сигнала по каналу связи + 20 мс.

2.12.9 Защита на принципе сравнении направления по приращениям – схема разрешающего телеотключения с перехватом (POR)

Данная схема полностью аналогична схеме используемой в терминалах LFDC.

Логика посылки сигнала: Δ Fault Forward (определение направления ВПЕРЕД)

Логика разрешения отключения: Δ Fault Forward (определение направления ВПЕРЕД) плюс прием (разрешающего) сигнала с противоположного конца линии.

Для ускорения отключения повреждения на линии выдержка защиты сравнения направлений мощности КЗ по приращениям аварийных параметров может быть задана равной нулю.

2.12.10 Защита на принципе сравнении направления по приращениям – блокирующая схема

Данная схема полностью аналогична схеме используемой в терминалах LFDC.

Логика посылки сигнала: Δ Fault Reverse (определение направления ОБРАТНО)

Логика отключения: Δ Fault Forward (определение направления ВПЕРЕД) плюс отсутствие блокирующего сигнала с противоположного конца линии в течении задержки отключения

Рекомендуемая уставка задержки отключения = максимальное время передачи сигнала на противоположный конец + 6мс

2.12.11 Таймер контроля реверса тока защиты по сравнению направлений

Аналогично схемам дистанционной защиты, необходимо принимать во внимание реверс тока на защищаемой линии при отключении повреждения на параллельной линии. Для предотвращения излишней работы защиты «здоровой» линии необходимо задать выдержку времени таймера контроля реверса тока. Рекомендуемым значением уставки при использовании Разрешающей схемы с переохватом и Блокирующей схемы можно считать:

$t_{\text{REVERSAL GUARD}}$ (КОНТРОЛЬ РЕВЕРСА ТОКА) = Максимальное время возврата схемы передачи сигнала по каналу связи + 35мс

2.13 Ускоренное отключение при потере нагрузки (LoL)

При использовании данной функции на линиях с отпайкой, необходимо при выборе уставок защиты при потере нагрузки, обеспечить уставку срабатывания детектора уровня тока $I <$ выше, чем ток отпайки. При вводе в работу функции защиты по потере тока нагрузки она работает совместно с основной схемой дистанционной защиты. Таким образом, она обеспечивает быструю локализацию коротких замыканий в конце зоны защиты, если выбрана Базовая схема ДЗ, а для схемы использующей канал связи для посылки разрешающего сигнала, она обеспечивает резервное быстрое отключение КЗ в конце зоны защиты при неисправности канала связи.

2.14 EIA(RS)232 InterMiCOM (“mODEM InterMiCOM”)

Уставки которые необходимо задать для использования функции InterMiCOM содержатся в двух колонках структуры меню. Первая колонка именуемая “INTERMICOM COMMS” включает всю информацию для конфигурации канала связи, а также используется для конфигурации функций диагностики и статистики канала. Вторая колонка с именем “INTERMICOM CONF” используется для выбора формата каждого из каналов и конфигурации логических состояний сигналов в режиме потери связи.

Уставки требуемые для конфигурации обмена сигналами InterMiCOM в значительной степени зависят от того прямой или не прямой (модем/мультиплексированный) канал связи используется для организации между концами схемы.

Прямой канал связи будет базироваться либо на коротком металлическом (проводном) соединении либо на выделенном оптическом канале и, следовательно, может иметь наибольшую скорость передачи 19200 бит/сек. Благодаря такой высокой скорости передачи сигнала, различие во времени отключения при использовании сигналов прямого телеотключения и разрешающих или блокирующих сигналов настолько мала, что можно использовать самый надежный принцип (прямое телеотключение) без какой либо ощутимой потери времени работы защиты. С другой стороны, т.к. передача сигнала прямого телеотключения требует полной проверки структуры фрейма сообщения и циклического избыточного кода (CRC), представляется благоразумным для резервного режима при нарушении канала связи “IM# Fallback Mode” задать уставку “Default” (по умолчанию) с минимальной преднамеренной задержкой “IM# FrameSyncTim” равной 10 мс. Другими словами, если два последовательных сообщения будут признаны недостоверными (недействительная структура сообщения), то терминал немедленно перейдет в режим значений по умолчанию до тех пор пока не будет принято достоверное сообщение.

В случае непрямого соединения, уставки конфигурации становятся более зависимы от схемы применения и используемой среды связи. Как и для случая прямого соединения, может показаться привлекательным рассматривать только самую высокую скорость передачи данных, однако обычно это увеличивает стоимость оборудования связи (модем/мультиплексор). Кроме этого, устройства работающие на такой высокой скорости передачи данных могут быть подвержены «заеданию данных» во время помех и в случаях перерывов в работе канала, и, следовательно, может потребоваться больше времени на период ресинхронизации. Оба этих фактора

снижают эффективную скорость связи и поэтому рекомендуемая уставка скорости передачи данных составляет 9,6 кбит/сек. Следует отметить, что при снижении скорости связи, канал становится более устойчивым к небольшим перерывам связи, однако при этом увеличивается общее время передачи сигналов.

Поскольку вполне вероятно, что будет выбрана пониженная скорость связи, становится важным выбор схемы обмена сигналами. Однако как только будет выбрана схема обмена сигналами необходимо рассмотреть ситуацию которая может случиться при возникновении помех при которых структура и содержание сообщений может быть нарушено. Если выбрана схема **«Блокирующая логика»**, то только небольшая часть полного сообщения фактически используется для передачи блокирующего сигнала, а это значит, что даже в условиях влияния помех высока вероятность приема достоверного сообщения. В таком случае рекомендуется для резервного режима при нарушении канала связи “IM# Fallback Mode” задать уставку “Default” (по умолчанию) с разумной величины задержки “IM# FrameSyncTim”. Типовое значение по умолчанию Default=1 (замена приема блокирующего сигнала) обычно применяется для безопасного режима при использовании блокирующей схемы.

Если выбрана схема **«Прямое телеотключение»**, то на достоверность проверяется вся структура сообщения, а это в свою очередь означает, что в условиях высокого уровня влияния помех шансы приема достоверного сообщения очень невелики. В таком случае рекомендуется для резервного режима при нарушении канала связи “IM# Fallback Mode” задать уставку “Default” (по умолчанию) с минимальной величиной задержки “IM# FrameSyncTim”, т.е. при приеме недостоверного сообщения, функция InterMiCOM использует значения по умолчанию. Типовое значение по умолчанию Default=0 (Замена отсутствия телеотключения) обычно применяется для безопасного режима при использовании схемы телеотключения.

Если выбрана схема **«Разрешающая логика»**, то шансы приема достоверного сообщения представляют нечто среднее между схемой «Блокирующая логика» и схемой «Прямое телеотключение». В этом случае возможно для режима при потере канала связи “IM# Fallback Mode” использовать значение уставки “Latched” (Фиксация). В приведенной ниже таблице даны рекомендованные уставки “IM# FrameSyncTim” для различных схем обмена сигналами и скоростями передачи данных:

Скорость связи	Минимальное значение рекомендуемой уставки “IM# FrameSyncTim”		Минимальная уставка (мс)	Максимальная уставка (мс)
	Режим «Прямое телеотключение»	Блокирующая логика		
600	100	250	100	1500
1200	50	130	50	1500
2400	30	70	30	1500
4800	20	40	20	1500
9600	10	20	10	1500
19200	10	10	10	1500

Примечание: Для схемы Блокирующей логики не даны никакие рекомендации т.к. предполагается, что при выборе этой схемы будет использована уставка “Latched” (Фиксация). Однако если будет выбрана уставка “Default mode” (Режим по умолчанию), то уставка таймера “IM# FrameSyncTim” должна быть больше минимальной уставки в приведенной выше таблице. Если уставка таймера “IM# FrameSyncTim” будет задана меньше минимальной уставки рекомендованной в таблице, существует опасность того, что реле воспримет корректное изменение в сообщении как искаженное сообщение.

Уставка в 25% рекомендуется для сигнализации нарушений работы канала.

2.15 InterMiCOM⁶⁴ (“Опто InterMiCOM”)

2.15.1 Оптический ресурс

При выборе любой из схем телеускорения InterMiCOM⁶⁴ важно правильно выбрать интерфейс связи. Это будет зависеть от типа используемого оптоволокна и удаленности терминалов друг от друга. В следующей таблице показан оптические ресурсы доступных интерфейсов.

	850нм МНОГОМОД.	1300нм МНОГОМОД.	1300нм ОДНОМОД.
Мин. уровень передачи (средняя мощность)	-19.8dBm	-10dBm	-10dBm
Чувствительность приемника (средняя мощность)	-25.4dBm	-37dBm	-37dBm
Оптический ресурс	5.6dB	27.0dB	27.0dB
Минимальный запас для надежности (3dB)	2.6dB	24.0dB	24.0dB
Типовое затухание в кабеле	2.6dB/км	0.8dB/км	0.4dB/км
Максимальная длина линии связи	1км	30.0км	60.0км

Полный оптический ресурс (запас по затуханию) который складывается из уровня сигнала на выходе передатчика за вычетом чувствительности приемника, показывает максимально возможное затухание в канале (потери мощности сигнала) связи между устройствами. В приведенной таблице также включен минимальный запас для надежности равный 3dB. Это позволяет учесть увеличение затухание канала вызванное старением оптоволокна и увеличением потерь в местах стыковок оптоволокна (подключения). Остальное затухание вызвано потерями в самом оптоволокне. Приведенные в таблице данные являются типовыми и могут использоваться только в качестве справочной информации.

В общем случае, интерфейсы 1300нм используются для прямого подключения между терминалами. Интерфейс 850нм применяется при использовании мультимплексированных каналов связи.

2.15.2 Уставки источника сигналов времени

Для синхронизации данных между концами системы защиты необходимо задать уставки источника сигнала времени. Это может быть обеспечено либо при использовании источников времени интегрированных в терминалах MiCOMho P443 или при использовании внешнего источника (оборудования телекоммуникации). В зависимости от конфигурации системы связи, в терминале предусмотрен выбор источника сигналов времени для каждого канала (Канал 1 и Канал 2) либо “Internal” (Внутренний) либо “External” (Внешний).

Данная уставка не применяется при использовании режима IEEE C37.94.

Уставка выбора источника сигналов времени в терминалах на каждом конце линии должна быть установлена как “Internal” (Внутренний), если терминалы соединены прямым оптоволоконным каналом связи. При этом на каждом конце терминалы MiCOMho P443 используют внутренние часы.

Уставка выбора источника сигналов времени в терминалах на каждом конце линии должна быть установлена как “External” (Внешний), если терминалы соединены при помощи канала использующем оборудование мультимплексирования которое обеспечивает сигналами времени, поступающими от ведущего источника времени данной сети. Важно отметить, что для синхронизации данных системы защиты должен использовать один и тот же источник сигналов времени.

Следует отметить, что данная уставка не применяется при использовании режима IEEE C37.94.

2.15.3 Скорость передачи данных

В зависимости от условий применения, для обмена данными между двумя или тремя терминалами может быть задана уставка 64кбит/сек или 56кбит/сек.

При использовании прямого оптоволоконного канала связи обычно используется максимальная скорость 64кбит/сек, поскольку это несколько повышает быстродействие защиты.

Использование мультимплексированных каналов для связи между концами определяет скорость передачи данных в системе защиты образованной терминалами MiCOMho P443. Электрические интерфейсы к мультимплексу (сонаправленный G.703, V.35, или X.21) обеспечиваются каналами с пропускной способностью 64кбит/сек или 56кбит/сек, при этом MiCOMho P443 на каждом конце должны быть конфигурированы на эту скорость.

Обычно сеть мультимплексированных каналов в Северной Америке базируется на каналах работающих на скорости 56кбит/сек (и кратных ей), в то время как в остальном мире в такой сети используются каналы работающие на скорости 64кбит/сек (и кратных ей),

Эта уставка также не применяется при использовании IEEE C37.94.

2.15.4 Типы команд функции IMx

Большинство аспектов применения EIA (RS) 232 InterMiCOM аналогичным образом применимы для использования InterMiCOM⁶⁴. Принимая во внимание тот факт, что скорость канала связи InterMiCOM⁶⁴ значительно выше (54 или 64кбит/сек), следует учитывать только комментарии, относящиеся к высокоскоростным оптоволоконным каналам. Благодаря высокой скорости обмена данными, разница времен срабатывания защиты при использовании различных схем телеускорения/телеотключения (Прямое ТО, Разрешающая логика, Блокирующая логика) очень мала, и поэтому только для InterMiCOM⁶⁴ могут быть использованы только два варианта. Доступен режим Прямого Телеотключения, а второй режим является комбинированным для Разрешающей/Блокирующей логики (в структуре меню он именован как ‘Permissive’ (Разрешающий). Для повышения надежности Телеотключения (Передача сигнала прямого телеотключения) в InterMiCOM⁶⁴ прямая команда проходит (реализуется) только когда приняты 2 последовательных достоверных сообщения (с данной командой). Рекомендуемые уставки:

- Для Блокирующей схемы установить ‘Permissive’ (Разрешающая)
- Для Разрешающей схемы установить ‘Permissive’ (Разрешающая)
- Для Прямого сигнала Телетключения установить ‘Direct’ (Прямое ТО)

Файлы уставок обеспечивают независимые уставки для каждой первых 8 команд. Следует отметить, что 8 оставшихся команд будут иметь одинаковые уставки, соответственно, т.е. если ‘IM1’ задано ‘Direct’ (Прямое ТО), то тот же режим сигнала будет применен к IM9 (= IM1+8). Благодаря высокой скорости передачи данных, разница между временами передачи сигнал будет минимальна. Оба сигнала обеспечивают типовое время срабатывания (от формирования сигнала в логической

схеме терминала на передающем конце до приема сигнала в логическую схему терминала на приемном конце) как показано в следующей таблице:

Режим работы канала	Применение	Типовая задержка (мс)	Максимум (мс)	Комментарий
Разрешающий	Прямое оптоволокно	От 3 до 7	9	Предполагается отсутствие повторителей (нет источников цифровых помех)
	Мультиплексированный	От 5 до 8 + MUX	12 + MUX	Для канала потоком битов ошибок до 1×10^{-3} .
Прямое ТО	Прямое оптоволокно	От 4 до 8	10	Предполагается отсутствие повторителей (нет источников цифровых помех)
	Мультиплексированный	От 6 до 8 + MUX	13 + MUX	Для канала потоком битов ошибок до 1×10^{-3} .

При использовании InterMiCOM64 для применения опций Aided Scheme 1 (Телеотключение 1) или Aided Scheme 2 (Телеотключение 2) рекомендуется для целей блокировки и расчета реверса исходить из предположения, что максимальная задержка в канале в худшем случае может достигать 15мс (срабатывание и задержка возврата). При этом необходимо добавить задержку мультиплексирования, при использовании такой сети, принимая в расчет тот факт, что в случае вступления в действие функции самолечения телекоммуникационной сети SONET/SDH, может быть использован наиболее протяженный путь для канала обмена данными между терминалами системы защиты.

Следует также учитывать, что в случае применения терминалов на 3-концевой линии, при неисправности канала одного из плеч треугольника и переходе («отступлении») на резервную конфигурацию каналов может быть образована топология сети типа «цепь» в которой время передачи сигнала возрастает. В этом режиме происходит ретрансляция сообщений, и таким образом удваивается протяженность канала связи. Общее время передачи команд между двумя наиболее удаленными терминалами может также удвоиться.

2.15.5 Режим связи IMx при неисправности канала

При выборе уставки 'Default' (По умолчанию), рекомендуются следующие значения уставки 'IMx Default Value' (Значение сигнала IMx по умолчанию): Для схем «Прямое ТО» установить значение 0, а для схемы «Блокирующая» установить значение 1. При использовании Разрешающей логики телеускорения, пользователь может отдать предпочтение Фиксированию (уставка Latch) последнего состояния сигнала принятого до появления неисправности канала связи.

2.16 Максимальная токовая защита от междуфазных КЗ

Уставки ступеней МТЗ должны выбираться с учетом выполнения условия селективной работы с другими защитами сети. Пример уставок для данной защиты приведен в

Network Protection and Automation Guide (Руководство по Релейной защите и Автоматике в Энергосистеме).



Внимание: Стандарт IEEE C.37.112 для инверснозависимых характеристик (IDMT) допускает некоторую свободу для производителей реле в части того, с какими значениями коэффициента кратности времени (TD) использовать базовые характеристики. Вместо того чтобы выбирать значения между диапазонами значений, для реле **MiCOMho P443** в качестве базового значения (норма) принято значение коэффициента кратности времени равное 1. Коэффициент кратности времени это просто множитель для базовой кривой, применяемый для получения требуемого времени отключения. Требуется проявить должное внимание при выполнении согласования с характеристиками реле других производителей, которые могли использовать значения TD=5 или TD=7, как значение между диапазонами, для представления IDMT характеристики. Эквивалентное значение уставки для **MiCOMho P443** для согласования с такими реле получается путем деления импортированного значения на 5 или 7.

2.16.1 Уставки угла максимальной чувствительности направленной МТЗ

Для направленных ступеней максимальной токовой защиты используется 90-градусная схема подключения органа направления мощности. При этом угол максимальной чувствительности (характеристический угол реле) устанавливается следующим:

- +30° чисто линия, источник нулевой последовательности позади реле
- +45° трансформаторный фидер, источник нулевой последовательности впереди реле

До тех пор пока не будет рассчитано точное значение требуемого угла максимальной чувствительности точно соответствующего углу короткого замыкания в системе, рекомендуется использовать приведенные выше значения уставок, поскольку данные уставки обеспечивают приемлемые характеристики срабатывания и стабильности (блокирование) защиты для большинства случаев применения.

2.17 Защита от теплового перегруза

Защита от теплового перегруза служит для защиты первичного оборудования от режимов работы с температурой активных частей превышающей максимально допустимую рабочую температуру. Продолжительная работа при повышенной температуре ведет к преждевременному старению изоляции и в крайнем случае к пробое изоляции.

2.17.1 Характеристика с одной постоянной времени

Уставка тока срабатывания рассчитывается как:

Ток сраб. Тепл. Защиты (Thermal Trip) = Длительно допустимый ток защищаемого оборудования / Ктт

Типовые значения постоянных времени нагрева/остывания приведены в следующей таблице. Уставка реле 'Time Constant 1' (Постоянная времени 1) задается в минутах.

	Постоянная времени τ (минуты)	Ограничения
Сухие реакторы без сердечника	40	
Батареи конденсаторов	10	
Воздушные линии	10	Сечение $\geq 100 \text{ мм}^2$ медь или 150 мм^2 алюминий
Кабели	60 – 90	Обычно 66кВ и выше
Шины	60	

При достижении заданного теплового состояния (устанавливается в процентах от теплового состояния отключения) реле действует на сигнал (если введена ступень сигнализации). Типовое значение уставки сигнализации 'Thermal Alarm' = 70%.

2.17.2 Характеристика с двумя постоянными времени

Уставка тока срабатывания рассчитывается как:

Ток сраб. Тепл. Защиты (Thermal Trip) = Длительно допустимый ток защищаемого оборудования / Ктт

Типовые значения постоянных времени:

	τ_1 (минуты)	τ_2 (минуты)	Ограничения
Маслонаполненные трансформаторы	5	120	Номинал 400 - 1600 кВА

При достижении заданного теплового состояния (устанавливается в процентах от теплового состояния отключения) реле действует на сигнал (если введена ступень сигнализации). Типовое значение уставки сигнализации 'Thermal Alarm' = 70%.

Следует обратить внимание на то, что значения постоянных времени, приведенных в таблицах, являются лишь типовыми величинами. При использовании защиты от теплового перегруза необходимо всегда опираться на данные производителя оборудования.

2.18 Стандартная ЗНЗ и чувствительная ЗНЗ (SEF)

Внимание:



Стандарт IEEE C.37.112 для инверснозависимых характеристик (IDMT) допускает некоторую свободу для производителей реле в части того, с какими значениями коэффициента кратности времени (TD) использовать базовые характеристики. Вместо того чтобы выбирать значения между диапазонами значений, для реле **MiCOMho P443** в качестве базового значения (норма) принято значение коэффициента кратности времени равное 1. Коэффициент кратности времени это просто множитель для базовой кривой, применяемый для получения требуемого времени отключения. Требуется проявить должное внимание при выполнении согласования с характеристиками реле других производителей, которые могли использовать значения TD=5 или TD=7, как значение между диапазонами, для представления IDMT характеристики. Эквивалентное значение уставки для **MiCOMho P443** для согласования с такими реле получается путем деления импортированного значения на 5 или 7.

2.18.1 Направленная защита от замыканий на землю

2.18.1.1 Поляризация напряжением нулевой последовательности

В нормальном режиме работы сети возможно наличие небольшого напряжения нулевой последовательности вызванного несимметрией нагрузки, погрешностью ТН, неточностью измерения и т.п. Поэтому в реле имеется уставка ($IN > VN \text{ Pol Set}$)(УСТ.НАПР.ПОЛ. VN) минимального напряжения нулевой последовательности используемого для поляризации защиты от замыканий на землю, которая должна быть превышена для работы органа определения направления мощности. На практике, при нормальном режиме работы системы, напряжение нулевой последовательности (U_0) составляет около 1% (т.е. $3U_0$ 3%), а ошибка ТН также может достигать 1%. Это говорит, что суммарный небаланс может достигать 5% от напряжения фаза-нейтраль, хотя типовые значения данной уставки задаются в диапазоне от 2% до 4%. В системах с резистивным заземлением нейтрали или с изолированной нейтралью данная уставка может быть повышена до 10% - 20% фазного напряжения, соответственно. Результат измерения напряжения нулевой последовательности ($3U_0$) выводимый на дисплей в меню «ИЗМЕРЕНИЯ» в период наладочных испытаний, может быть использован для выбора уставки минимального напряжения поляризации, поскольку данный параметр характеризует несимметрию системы в режиме нормальной работы.

2.18.2 Общие рекомендации по выбору уставок направленной ЗНЗ

При задании уставки характеристического угла реле (φ м.ч.) для направленной ЗНЗ используются положительные значения углов. Это объясняется тем, что квадратура напряжения поляризации отстает от тока на 90° , т.е. ток при коротком замыкании опережает напряжение поляризации и, следовательно, используются положительные значения уставки характеристического угла органа направления мощности. Применительно к направленной ЗНЗ, ток нулевой последовательности при 1-ф КЗ отстает от напряжения поляризации. Таким образом, для направленной ЗНЗ задаются отрицательные значения характеристических углов органа направления мощности. Данная уставка задается в ячейке меню 'IN> Char Angle' (Характеристический угол ЗНЗ).

Приводим рекомендуемые значения уставки характеристического угла органа направления мощности ЗНЗ при поляризации напряжением нулевой последовательности:

- Распределительная сеть с изолированной нейтралью $\Rightarrow -45^\circ$
- Магистральная сеть с «глухозаземленной» нейтралью $\Rightarrow -60^\circ$

При поляризации параметрами обратной последовательности, уставки характеристического угла должны базироваться на угле импеданса вышестоящего источника обратной последовательности.

2.19 Максимальная токовая защита обратной последовательности (ТЗОП)

В следующем разделе описано применение ТЗОП для совместной работы со стандартными МТЗ и ЗНЗ для исключения трудностей в отдельных, не часто встречающихся случаях:

- Органы ТЗОП обеспечивают большую чувствительности к междуфазным КЗ через переходное активное сопротивление (например, дуга) в тех случаях, когда токовые органы МТЗ могут не работать.
- В некоторых случаях применения, ток нулевой последовательности может не обнаруживаться при однофазных замыканиях из-за конфигурации сети. Например, реле ЗНЗ подключенное со стороны обмотки собранной в треугольник трансформатора (треугольник/звезда) не может обнаружить замыкание на землю со стороны звезды трансформатора. Однако, в этом случае, ток обратной последовательности присутствует с обеих сторон

независимо от схемы соединений силового трансформатора. Следовательно ТЗОП может быть использована в качестве резервной защиты от любых несимметричных замыканий в сети далее от источника.

- При необходимости ТЗОП может быть использована только для сигнализации несимметрии в системе. Получив сигнал, оперативный персонал может установить причину возникшей несимметрии.

2.19.1 Уставка срабатывания ТЗОП, 'I2> current set'

Ток срабатывания ступени (х СТ. I2>: УСТАВКА) должен быть установлен выше чем максимальный ток обратной последовательности присутствующий в нормальном режиме системы. Практически это может быть сделано на стадии наладочных работ, по результатам измерения несимметрии системы. Уставка обычно на 20% больше замеренного значения.

В тех случаях, когда орган ТЗОП требуется для срабатывания при специфических несимметричных повреждениях, при которых не обеспечивается достаточная чувствительность других защит, требуется точная уставка базирующаяся на индивидуальном расчете режимов системы. Для надежного срабатывания защиты уставка срабатывания должна быть, по крайней мере, на 20% ниже расчетного значения тока обратной последовательности.

2.19.2 Задержка на срабатывание ТЗОП, 'I2> time delay'

Как было сказано ранее, правильный выбор выдержки времени срабатывания (х СТ. I2> : СТУП. t) имеет первостепенное значение. Следует помнить, что данная защита в первую очередь предназначена для резервирования других защит или для сигнализации несимметрии в сети. Таким образом, практически всегда ТЗОП действует со сравнительно большой выдержкой времени.

Следует убедиться в том, что выдержка времени ТЗОП больше чем выдержка времени всех других защит (при минимальном уровне КЗ) в системе, которые чувствуют несимметричные короткие замыкания.

2.19.3 Выбор направления ТЗОП

В тех случаях, когда ток обратной последовательности может протекать по реле в разных направлениях, следует использовать орган направления мощности. Выбор направления выполняется путем сравнения фаз напряжения и тока обратной последовательности и может быть задан как вперед так и назад. Для выбора направления действия защиты в реле предусмотрена уставка угла максимальной чувствительности (I2> Char Angle). Данная уставка должна быть равна фазе тока обратной последовательности по отношению к инвертированному напряжению обратной последовательности ($-V_2$), для того чтобы попасть в середину области срабатывания.

Угол между V_2 и I_2 при несимметричном КЗ непосредственно зависит импеданса системы обратной последовательности. Однако, следующие уставки для органа направления можно считать как типовые:

- Для магистральных линий, угол м.ч. = -60°
- Для линий распределительной сети, угол м.ч. = -45°

Для работы органа направления мощности, напряжение обратной последовательности должно быть больше уставки "I2> V2pol Set". Данная уставка должна быть выше напряжения обратной последовательности присутствующего в нормальном режиме работы. При выполнении проверки защит током нагрузки, в меню MEASUREMENT (ИЗМЕРЕНИЯ) можно измерить напряжение обратной последовательности.

2.20 Защита минимального напряжения

В большинстве случаев, для обнаружения однофазных замыканий в системе защита минимального напряжения не требуется. В таком случае, орган минимального напряжения конфигурируется на работу по линейным напряжениям, поскольку этот параметр подвержен меньшим изменениям при снижении напряжения в одной из фаз при замыкании на землю.

Уставка срабатывания защиты минимального напряжения должна быть несколько ниже чем изменения напряжения ожидаемые в нормальных режимах системы. Уставка выбирается индивидуально для каждой системы, однако, в нормальном режиме системы колебания напряжения обычно не превышают 10% от номинального напряжения.

Аналогичные комментарии могут быть применены к выдержке времени срабатывания данной защиты, т.е. требуемая выдержка на срабатывание зависит от времени, в течение которого система допускает пониженное напряжение.

2.21 Защита максимального напряжения

Наличие двух ступеней и соответствующих характеристик срабатывания предлагает несколько возможных случаев применения:

- Использование зависимых характеристик (IDMT) предоставляет возможность иметь большую выдержку времени при незначительных перенапряжениях и в тоже время обеспечивает быстрое отключение при значительных повышениях напряжения. Поскольку уставки обеих ступеней независимы друг от друга, вторая ступень установленная на более низкую уставку срабатывания чем первая может, при необходимости, быть использована как сигнальная.
- При необходимости, обе ступени могут работать с фиксированными выдержками времени и использоваться как ступень сигнализации и ступень отключения.
- Если требуется только одна ступень максимального напряжения, или требуется только действие на сигнал, другая ступень может быть выведена в меню реле.

Данный тип защиты должен быть согласован с другими реле максимального напряжения имеющимися в системе.

2.22 Защита по повышению напряжения нулевой последовательности (напряжение смещения нейтрали)

В нормальном режиме работы системы, сложение трех фазных напряжений в результате дает ноль, поскольку это векторная сумма трех одинаковых векторов сдвинутых по фазе на 120 градусов друг относительно друга. Однако при замыкании на землю одной из фаз в первичной сети, баланс напряжений нарушается и генерируется напряжение нулевой последовательности. При этом в сети с изолированной нейтралью изменяется напряжение между нейтралью и землей, что обычно называется смещением нейтрали (NVD).

На рис. 8 и 9 показано напряжение нулевой последовательности генерируемое при возникновении замыкания на землю в сети с глухозаземленной и компенсированной нейтралью.

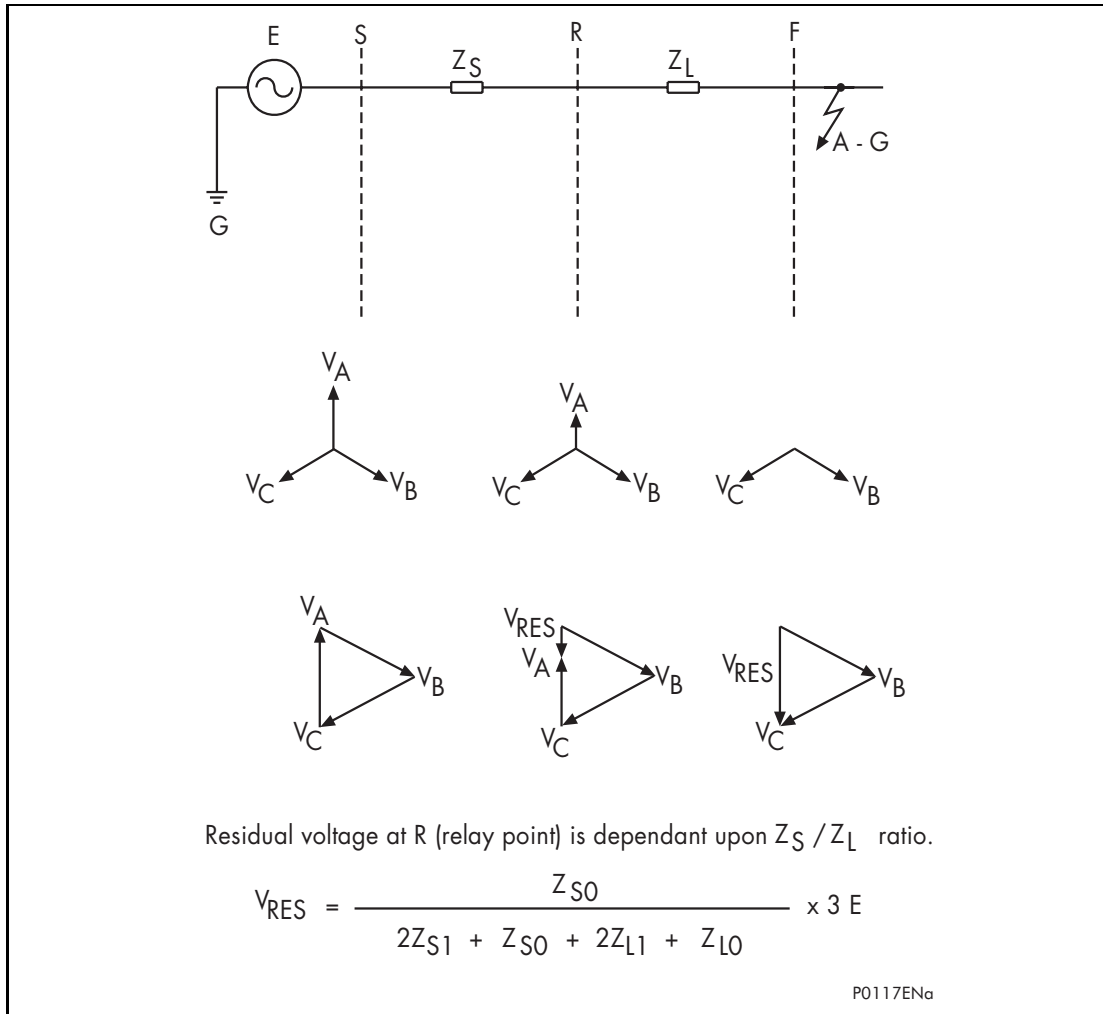


Figure 8: Напряжение нулевой последовательности в сети с глухозаземленной нейтралью

Как видно из рисунка 8, напряжение нулевой последовательности измеряемое реле при замыкании на землю зависит от отношения импеданса источника за реле к импедансу линии перед реле до точки КЗ. При удаленных замыканиях отношение Z_s/Z_l будет малым и соответственно, напряжение нулевой последовательности будет также малым. В таком случае, реле в зависимости от заданной уставки, будет работать только до определенного расстояния. Значение напряжения нулевой последовательности генерируемого при замыкании на землю определяется согласно показанной формуле.

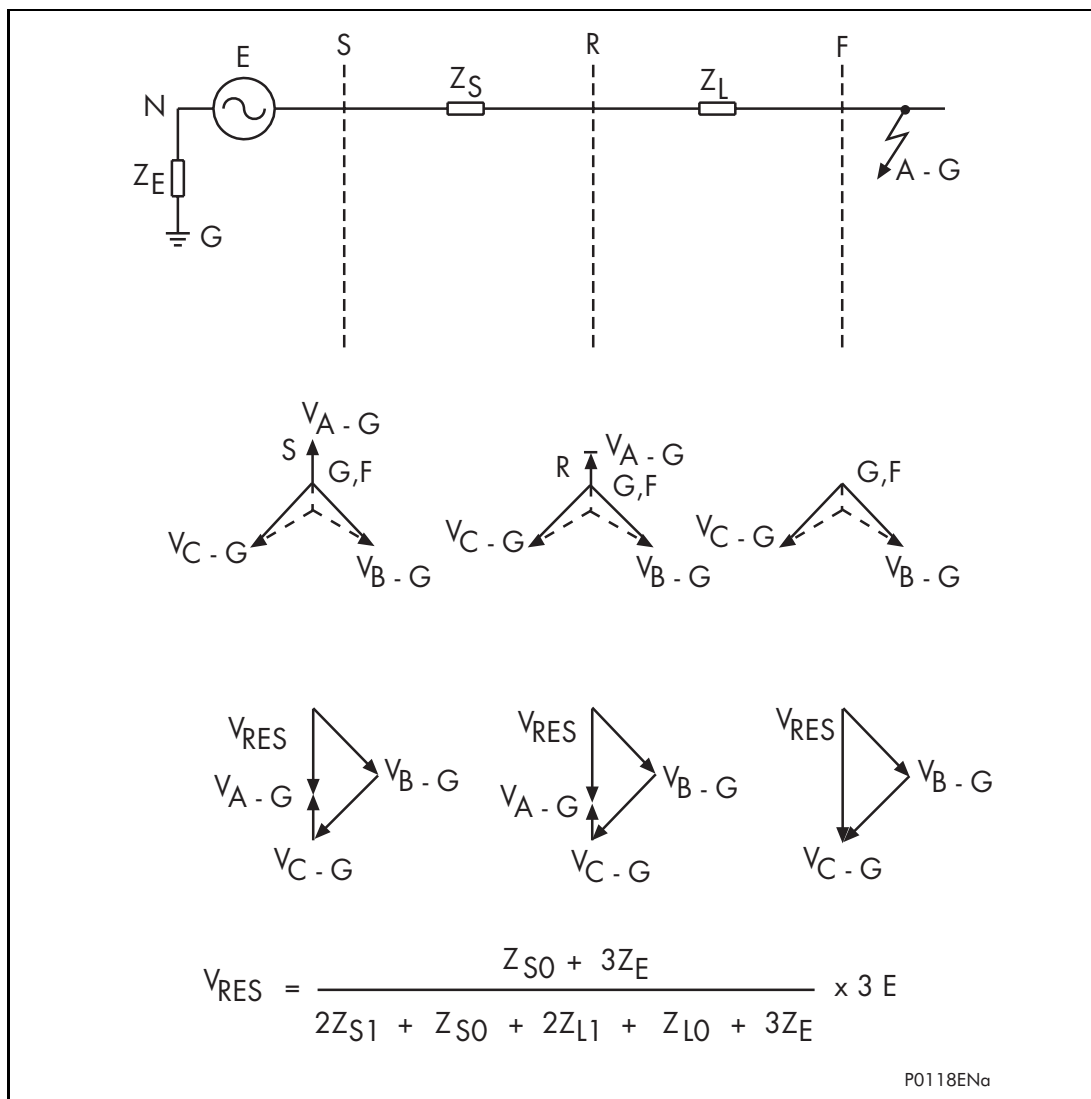


Figure 9: Напряжение нулевой последовательности в сети с резистивным заземлением нейтрали

Как видно из рис. 9, в системе с резистивным заземлением нейтрали генерируется относительно большое напряжение нулевой последовательности, поскольку импеданс источника нулевой последовательности теперь включает сопротивление заземления нейтрали. Отсюда следует, что наибольшее из возможных напряжений нулевой последовательности ($3U_0$) генерируется в сети с изолированной нейтралью ($3 \times$ фазное напряжение), поскольку импеданс источника нулевой последовательности равен бесконечности.

Исходя из сказанного выше видно, что обнаружение повышения напряжения нулевой последовательности можно считать альтернативным способом обнаружения замыкания на землю в первичной сети, не требующим измерения тока нулевой последовательности. Это может быть особенно важно для реле на отпаечном трансформаторе подключенном со стороны обмотки собранной в треугольник (поскольку данное соединение обмоток является ловушкой для тока нулевой последовательности).

В тех случаях когда применяется защита работающая по повышению напряжения нулевой последовательности, следует учитывать, что напряжение нулевой последовательности генерируется при замыкании в любом месте первичной сети и следовательно данная защита должна быть согласована с другими защитами от замыканий на землю.

2.22.1 Рекомендации по выбору уставок

Уставка срабатывания зависит от величины напряжения нулевой последовательности ожидаемого при возникновении замыкания на землю. А оно в свою очередь зависит от режима нейтрали применяемого в данной сети и может быть рассчитано с использованием формул показанных на рис. 8 и 9. Необходимо также убедиться что уставка срабатывания больше напряжения нулевой последовательности присутствующего в нормальном режиме системы.

Первая ступень защиты по повышению напряжения нулевой последовательности может быть конфигурирована на работу с обратозависимой характеристикой (IDMT), для того чтобы обеспечить возможность согласования с аналогичными защитами в других точках сети.

2.23 Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ)

2.23.1 Уставки таймера УРОВ

Типовой расчет уставки таймера приведен в следующей таблице

Механизм возврата пуска УРОВ	tBF (tУРОВ)	Типовая выдержка для выключателя с временем срабатывания 2 ½ периода (50мс)
Возврат защиты пустившей УРОВ	Время отключения выключателя + время возврата защиты (max.) + погрешность таймера tУРОВ + запас для безопасности	50 + 45 + 10 + 50 = 155 мс
Отключение выключателя	Время размыкания/ замыкания блок-контактов выключателя (max.) + погрешность таймера tУРОВ + запас для безопасности	50 + 10 + 50 = 110 мс
Орган контроля минимального тока	Время отключения выключателя + время срабатывания детектора отсутствия тока (max.) + запас для безопасности	50 + 25 + 50 = 125 мс

Следует отметить, что во всех вариантах возврата пуска функции УРОВ участвует детектор отсутствия тока. В тех случаях, когда для возврата пуска УРОВ используется режим *при возврате защиты пустившей УРОВ* или *при отключении выключателя*, следует также учитывать время срабатывания детектора отсутствия тока, т.к. это является самым тяжелым случаем.

В приведенном выше примере расчета уставок предполагалось прямое действие команды на соленоид отключения 2½ - периодного выключателя. В том случае если команда отключения из реле подается через промежуточные реле, необходимо добавить 10-15мс к времени отключения выключателя.

2.23.2 Уставка детектора отсутствия тока

Уставка детектора отсутствия тока ($I<$) должна быть ниже минимального тока нагрузки, для того чтобы срабатывание $I<$ сигнализировало об отключении полюса выключателя.

Типовое значение уставки для воздушных линий электропередачи или кабельных линий составляет 20% I_n . В тех случаях, когда имеется источник подпитки с высоким коэффициентом отношения импеданса системы (источника) к импедансу линии (SIR), значение уставки может быть снижено до 10% или 5% (например, УРОВ генераторного выключателя).

Уставка детектора отсутствия тока чувствительной защиты нулевой последовательности (SEF) должна быть ниже, чем соответствующая уставка отключения.

Типовое значение уставки:

$$ISEF< = (ISEF> \text{откл.}) / 2$$

2.24 Обнаружение обрыва проводника линии

Большинство повреждений случающихся в системе это замыкание одной фазы на землю или между двумя фазами и землей. Такой вид повреждений известен как шунтовые замыкания, которые могут возникнуть в результате разряда молнии или других перенапряжений вызывающих перекрытие или пробой изоляции. С другой стороны, причиной таких замыканий могут быть птицы на линиях электропередачи или механические повреждения кабелей и т.п. Такие виды повреждений сопровождаются значительным увеличением тока и в большинстве случаев легко определяются защитами.

Другим типом несимметричных повреждений являются последовательные повреждения или обрыв цепи. Подобные повреждения могут быть результатом обрыва провода, неправильной работой одного из полюсов выключателя или срабатыванием предохранителей. Последовательные повреждения не сопровождаются увеличением тока и следовательно не определяются стандартными максимальными токовыми защитами. Тем не менее, такие повреждения являются причиной появления несимметрии и следовательно вызывают протекание тока обратной последовательности, который может быть использован для определения повреждения.

Токковая защита обратной последовательности может быть использована для определения подобных повреждений. Однако, на слабо нагруженной линии, ток обратной последовательности, появляющийся в результате последовательных (сериесных) повреждений, может быть близок или даже меньше чем ток обратной последовательности нагруженной линии, вызванных погрешностями трансформаторов тока, несимметрией нагрузки и т.п. Следовательно, пусковой орган токовой защиты обратной последовательности не будет работать в режиме незагруженной линии.

В реле интегрирован измерительных орган, реагирующий на отношение токов обратной и прямой последовательности (I_2/I_1). Такое измерение в меньшей степени, чем просто измерение тока обратной последовательности, зависит от режима работы линии, поскольку отношение токов примерно постоянная величина при различных нагрузках. Следовательно, обеспечивается большая чувствительность защиты.

2.24.1 Рекомендации по выбору уставок

При размыкании одной из фаз, ток источника прямой последовательности включается последовательно с источниками обратной и нулевой последовательности в месте разрыва цепи.

В сети с единственной точкой заземления, ток нулевой последовательности будет незначителен и, следовательно, отношение токов I_2/I_1 , протекающих в защищаемой цепи, приближается к 100%. В сети с большим числом заземлений (при условии, что импедансы всех последовательностей равны), отношение I_2/I_1 составит 50%.

На практике минимальное значение уставки ограничивается уровнем тока обратной последовательности присутствующего в системе в нормальном режиме. Эта величина может быть определена путем анализа системы или измерена с помощью реле на стадии наладочных работ. Если последний метод считается приемлемым то измерения необходимо выполнять в максимальном нагрузочном режиме, что бы учесть всю однофазную нагрузку.

Следует учитывать, что для надежной работы функции необходимо, чтобы ток обратной последовательности составлял не менее 8%.

При задании чувствительных уставок, пусковой орган защиты будет срабатывать при возникновении любой несимметрии в системе (например, в цикле однофазного повторного включения). Следовательно, защита должна иметь большую выдержку времени, обеспечивающую согласование с другими защитами. Выдержку времени порядка 60 секунд можно считать типовой.

Пример выбора уставки.

Измерения, выполненные при проведении наладочных работ:

$I_{full\ load} = 500A$ (максимальный ток нагрузки)

$I_2 = 50A$

Отношение токов I_2/I_1 в нормальном режиме:

$I_2/I_1 = 50/500 = 0.1$

Допуская возможные изменения нагрузки уставку равную 20% от этой величины можно принять как типовую: Следовательно, уставка Ratio $I_2/I_1 = 0.2$

При наличии параллельной линии, использование уставки в 40% обеспечивает работу функции обнаружения обрыва провода только на поврежденной линии.

Уставка времени срабатывания: 'I2/I1 Time Delay' = 60с, для обеспечения отключения коротких замыканий защитами с выдержкой времени.

3. ПРИМЕР ВЫБОРА УСТАВОК И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

3.1 Пример выбора уставок дистанционной защиты

3.1.1 Цель

To protect the 100km double circuit line between Green Valley and Blue River substations using a MiCOMho P443 in distance POR Permissive Overreach mode and to set the relay at Green Valley substation, shown in Figure 10. It is assumed that mho characteristics will be used.

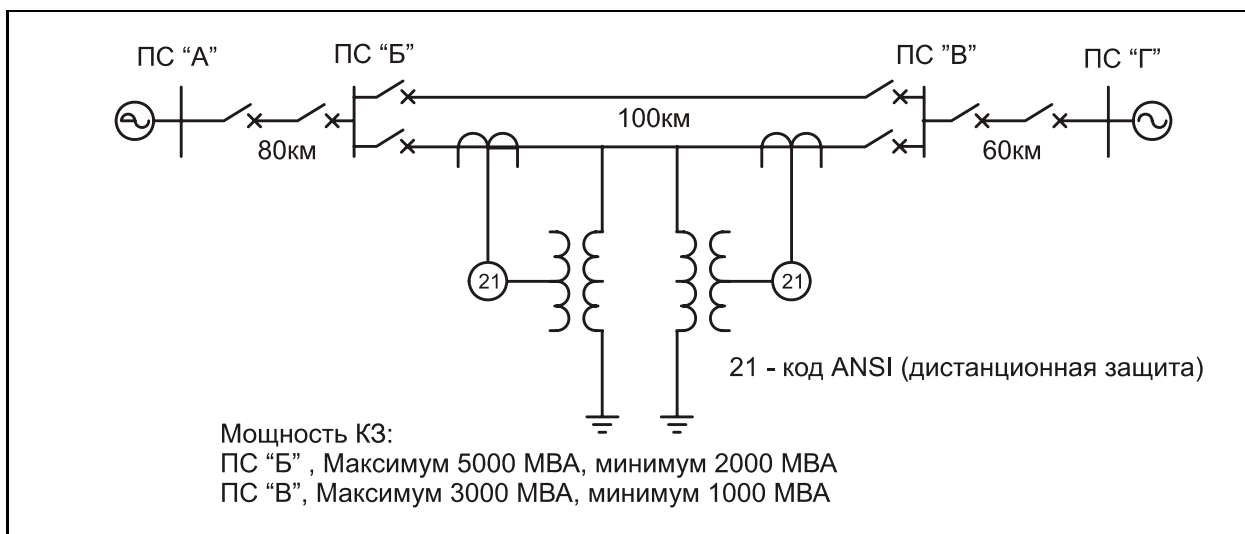


Figure 10: Пример системы для расчета уставок ДЗ

3.1.2 Данные системы

Длина линии: **100km**

Режим заземления нейтрали: глухозаземленная

Импедансы линии:

$Z_1 =$	$0.089 + j0.476 = 0.484 \angle 79.4^\circ \Omega/\text{km}$
$Z_0 =$	$0.426 + j1.576 = 1.632 \angle 74.8^\circ \Omega/\text{km}$
Z_0/Z_1	$= 3.372 \angle -4.6^\circ$

Ктт: 1 200/5

Ктн: 230 000/115

Номинальный длительный режим линии = 400MVA

Коэффициент мощности в самом тяжелом случае = 0,85

3.1.3 Уставки реле

Предположим, что нам не требуется расширение (удлинение) 1-й зоны ($Z_1 \text{ ext}$) и требуется лишь три зоны направленные вперед (в линию). Уставки в реле могут задаваться как в первичных так и во вторичных значениях, а импедансы могут быть выражены в полярной или декартовой системе координат (выбор доступный в меню). В нашем примере мы используем вторичные значения параметров.

3.1.4 Импеданс линии

Отношение вторичных значений к первичным = 0.12

$$\begin{aligned} \text{Импеданс линии (первичный)} &= \text{отношение } K_{тТ}/K_{тн} \times \text{импеданс линии (втор.)} \\ \text{Импеданс линии} &= 100 \times 0.484 \angle 79.4^\circ \text{ (перв.)} \times 0.124 \\ &= 5.81 \angle 79.4^\circ \Omega \text{ (втор.)} \end{aligned}$$

Для упрощения расчета угол линии принимается равным $= 80^\circ$

Следовательно, задаем уставки *Line Impedance (Импеданс линии)* и *Line Angle (Угол линии)*: $= 5.81 \angle 80^\circ \Omega$

3.1.5 Компенсация нулевой последовательности ДЗ от 1ф. КЗ

Коэффициент компенсации нулевой последовательности, при необходимости, может быть применен независимо для требуемых зон дистанционной защиты. Необходимость в этом может возникнуть в случае применения реле в сети с линиями имеющими различные характеристики или для защиты комбинированных линий (воздушная/кабельная). В нашем примере характеристики импедансов не меняются и, следовательно, для всех зон может быть применен один коэффициент компенсации kZN. Коэффициент задается в виде уставок "kZN Res. Comp" и "kZN Angle":

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент компенсации (kZN Res.Comp.) } |kZN| &= (Z_0 - Z_1) / 3 Z_1 \text{ (отношение)} \\ \text{Угол компенсации (kZN Angle)} \quad \angle kZN &= \angle (Z_0 - Z_1) / 3Z_1 \text{ (в град.)} \\ Z_0 - Z_1 &= (0.426 + j 1.576) - (0.089 + j0.476) \\ &= 0.337 + j1.1 \\ &= 1.15 \angle 72.9^\circ \end{aligned}$$

$$kZN = \frac{1.15 \angle 72.9^\circ}{3 \times 0.484 \angle 79.4^\circ} = 0.79 \angle -6.5^\circ$$

Выбираем следующие значения уставок:

$$\begin{aligned} \text{kZN Res. Comp} &= 0.7 \\ \text{kZN Angle} &= -6.5^\circ \end{aligned}$$

3.1.6 Охват Зоны Z1 ДЗ при м/ф и 1ф. КЗ

Требуемый охват 1-й зоны ДЗ должен быть 80% импеданса линии между ПС «Б» и «В».

Используем упрощенный (Simple) режим задания уставок (рекомендуется):

- Задаем уставки *Zone 1 Ph* и *Zone 1 Gnd* = 80%

На основании заданной уставки (80%) реле автоматически рассчитает значение охвата в Омах, либо уставки могут быть заданы вручную, если выбран режим задания уставок **ADVANCED (РАСШИРЕННЫЙ)**:

$$\begin{aligned} \text{Требуемый охват Зоны Z1} &= 0.8 \times 100 \times 0.484 \angle 79.4^\circ \times 0.12 \\ Z_1 &= 4.64 \angle 79.4^\circ \Omega \text{ (вторичных)} \end{aligned}$$

$$\text{Угол линии (Line Angle)} = 80^\circ$$

Следовательно, охват 1-й зоны $= 4.64 \angle 80^\circ \Omega$ (вторичных).

3.1.7 Охват Зоны Z2 ДЗ от м/ф и 1ф. КЗ

Требуемый охват зоны Z2 =

$$\begin{aligned} &\text{Импеданс ВЛ ПС «Б» - ПС «В»} + 50\% \text{ импеданса ВЛ ПС «В» - ПС «Г»} = \\ &= (100 + 30) \times 0.484 \angle 79.4^\circ \times 0.12 = \\ &= 7.56 \angle 79.4^\circ \Omega \text{ (вторичных)} \end{aligned}$$

Угол линии (Line Angle) = 80°

Следовательно, охват 2-й зоны = $7.56 \angle 80^\circ \Omega$ (вторичных)

При использовании альтернативного способа (SIMPLE), данный охват задается в процентах от импеданса защищаемой линии. Типовое значение не менее 120%.

3.1.8 Охват Зоны Z3 ДЗ от м/ф и 1ф. КЗ

$$\begin{aligned} \text{Требуемый охват зоны Z3} &= (Z_{Б-В} + Z_{В-Г}) \times 1.2 \\ &= (100 + 60) \times 1.2 \times 0.484 \angle 79.4^\circ \times 0.12 \\ &= 11.15 \angle 79.4^\circ \text{ Ом вторичных} \end{aligned}$$

Следовательно, Z3 = $11.16 \angle 80^\circ$ Ом вторичных

При выборе упрощенного метода (Simple), уставка охвата зоны Z3 задается в процентах от импеданса защищаемой линии.

3.1.9 Охват зоны Z3 в сторону шин подстанции

При отсутствии других специальных требований, может быть задано небольшое смещение характеристики зоны Z3 в обратном направлении. Смещение в III квадрант составляет $Z3' = 10\%$. В данном случае это приемлемо, т.к. длина линии более 30км.

Охват зоны Z4 в обратном направлении при использовании схем POR (Разрешающая с переохватом) и BLOCKING (Блокирующая).

При использовании зоны Z4 для обнаружения КЗ «за спиной» для Блокирующей схемы или Разрешающей схемы с переохватом, уставка охвата зоны Z4 в сторону шин должна быть больше чем уставка дистанционного органа зоны Z2 реле противоположного конца линии. Это достигается если выполняется условие: $Z4 \geq ((\text{Уставка Z2 реле противоположного конца защищаемой линии}) \times 120\%)$, при условии использования характеристики типа Mho.

Уставка охвата зоны Z2 реле противоположного конца линии =

$$\begin{aligned} &= (Z_{Б-В} + 50\% Z_{А-Б}) \\ &= (100 + 40) \times 0.484 \angle 79.4^\circ \times 0.12 \\ &= 8.13 \angle 79.4^\circ \Omega \text{ (втор.)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z4 &\geq ((8.13 \angle 79.4^\circ) \times 120\%) - (5.81 \angle 79.4^\circ) \\ &= 3.95 \angle 79.4^\circ \end{aligned}$$

Минимальная уставка зоны Z4 в обратную сторону = $3.96 \angle 80^\circ \Omega$ (втор.)

3.1.10 Отстройка от нагрузочных режимов

Максимальный нагрузочный ток линии может быть рассчитан следующим образом:

$$I_{\text{нагр. макс.}} = \left[\frac{\text{Ном. Мощность в МВА}_{\text{нагр. макс.}}}{\sqrt{3} \times \text{напряжение линии в кВ}} \right]$$

На практике уставка реле должна быть отстроена от режима перегрузки, которая обычно не превышает 120%. Кроме этого, в случае двухцепной линии, на время бестоковой паузы АПВ (при локализации КЗ на параллельной линии) значение тока по здоровой линии может удваиваться. Таким образом, ток нагрузочного режима может достигать значения $2.4 \times I_{\text{нагр. макс.}}$.

В таком тяжелом нагрузочном режиме, напряжение линии может снижаться до $90\% V_n$.

Таким образом, с учетом погрешности измерения (ТТ, ТН, реле) и необходимого запаса, результирующий импеданс нагрузки может в 3 раза отличаться от ожидаемого «номинального».

Для отстройки от нагрузки необходимо задать параметры зоны ограничения импеданса:

$$Z \leq (\text{Номинальное напряжение фаза-земля } V_n) / (I_{\text{нагр.макс.}} \times 3)$$

$$= (115/\sqrt{3}) / (I_{\text{нагр.макс.}} \times 3)$$

Рекомендуемое значение области ограничения по напряжению $V <$ составляет 70% от $V_n = 66.4 \times 0.7 = 45\text{В}$

3.1.11 Дополнительные уставки для четырехугольных характеристик

3.1.11.1 Резистивный охват органов ДЗ от м/ф КЗ (Rph)

Резистивный охват (RPh) дистанционных органов от междуфазных замыканий, выраженный в первичных величинах, должен охватывать максимально ожидаемое активное сопротивление при коротком замыкании фаза-фаза. В идеальном случае уставки RPh должна быть больше максимального сопротивления междуфазной дуги, рассчитанной по формуле:

$$R_{\text{дуги}} = (28710 \times L) / I_f^{1.4}$$

Где:

I_f = максимальный ожидаемый ток междуфазного КЗ, (А);

L = максимальное расстояние между проводниками фаз, (м);

$R_{\text{дуги}}$ = сопротивление дуги рассчитанное по формуле Уоррингтона, (Ω).

Типовые значения $R_{\text{дуги}}$ (первичные Ω) для различных значений минимального ожидаемого тока КЗ, приведены в следующей ниже таблице.

Расстояние между проводниками, (м)	Напряжение сети, (кV)	$I_f = 1\text{kA}$	$I_f = 2\text{kA}$	$I_f = 3\text{kA}$
4	110 - 132	7.2 Ω	2.8 Ω	1.6 Ω
8	220 - 275	14.5 Ω	5.5 Ω	3.1 Ω
11	380 - 400	19.9 Ω	7.6 Ω	4.3 Ω

Следует помнить, что подпитка места короткого замыкания с обоих концов линии ведет к тому, что активное сопротивление короткого замыкания кажется больше, поскольку реле не может измерить ток, протекающий по реле противоположного конца линии. Коэффициент увеличения измеряемого активного сопротивления может быть от 2 до 8 от значения полученного расчетным путем. Поэтому рекомендуется задавать уставку охвата по оси R раза в 4 больше расчетного значения.

В приведенном выше примере минимальная мощность короткого замыкания составляет 1000МВА. Это эквивалентно эффективному импедансу междуфазного КЗ:

$$Z = \text{kV}^2 / \text{MVA} = 230^2 / 1000 = 53 \text{ Ом (первичных)}$$

Минимальный ток короткого замыкания между фазами составляет:

$$I_{\text{кз}} = (\text{MVA} \times 1000) / (\sqrt{3} \times \text{kV})$$

$$= (1000 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 230) = 2.5 \text{ кА}$$

Согласно формуле Уоррингтона сопротивление дуги при этом токе составит:

$$R_{\text{дуги}} = 4 \text{ Ом}$$

Поскольку это сопротивление относительно мало по сравнению с сопротивлением “Z” рассчитанным выше, нет необходимости выполнять ряд итераций для вычисления

фактического значения тока КЗ ($I_{кз}$), который будет несколько меньше рассчитанного значения, т.к. сопротивление дуги добавляется к сопротивлению петли измерения импеданса до точки КЗ. Будет достаточно увеличить рассчитанное сопротивление дуги $R_{дуги}$ в 4 раза, как рекомендовано ранее, и учесть, что фактический ток КЗ будет несколько меньше рассчитанного. Итак, в нашем случае минимальная уставка $5 \times R_{дуги}$, что составит 20 Ом (перв).

Совершенно очевидно, что уставка более 20 Ом первичных может быть установлена на реле. Обычно резистивный охват всех зон дистанционной защиты устанавливается больше этого значения и в идеальном случае меньше импеданса нагрузки (см. п. «Отстройка от режимов нагрузки»).

3.1.11.2 Резистивный охват органов ДЗ от 1ф. КЗ (RGnd)

Резистивный охват дистанционных органов от однофазных замыканий должен быть установлен, обычно, для охвата сопротивления дуги и сопротивления заземления опоры. В данном примере типовым значение можно считать значение 40 Ом (первичных).

При однофазных коротких замыканиях через большое активное сопротивление, дистанционная защита может оказаться недостаточно чувствительной. В таком случае необходимо использовать дополнительную защиту от замыканий на землю, например, чувствительная ЗНЗ использующая канал связи между реле. При этом отпадает необходимость задавать слишком большой резистивный охват (RGnd) для дистанционных органов от однофазных КЗ и следовательно уставка RGnd может быть установлена согласно формуле в разделе 2.6.

3.2 Защита трехконцевых линий

Применение дистанционных защит для защиты трехконцевых линий встречается довольно часто. Однако в подобных случаях существует ряд специфических вопросов.

3.2.1 Эффект кажущегося импеданса

На рис. 11 показана типовая схема трехконцевой линии. При коротком замыкании на шинах подстанции В, импеданс кажущийся на зажимах реле А будет равен:

$$Z_a = Z_{at} + Z_{bt} + [Z_{bt} \cdot (I_c / I_a)]$$

Реле А будет работать с недохватом при коротких замыканиях если КЗ произошло дальше точки разветвления линий, т.к. короткое замыкание будет подпитываться с конца С. Эффект недоохвата тем значительней чем более мощный источник на шинах ПС С. Если уставка зоны Z2 задана на уровне 120% импеданса защищаемой линии, эффект переохвата может привести к отказу в работе (данной зоны) при КЗ на линии. При этом эффект недоохвата оказывает влияние не только на зону Z2 работающую с выдержкой времени, но и на схему ускорения по каналу связи использующую в своей логике пусковой орган зоны Z2. В случае наличия эффекта недоохвата необходимо задавать уставку зоны Z2 с охватом обоих противоположных концов линии с учетом влияния подпитки. Уставка охвата зоны Z1 должна быть задана с недохватом по реальному импедансу до ближайшего противоположного конца линии (при этом учет подпитки не выполняется). Оба эти условия могут быть выполнены при помощи использования альтернативных групп уставок.

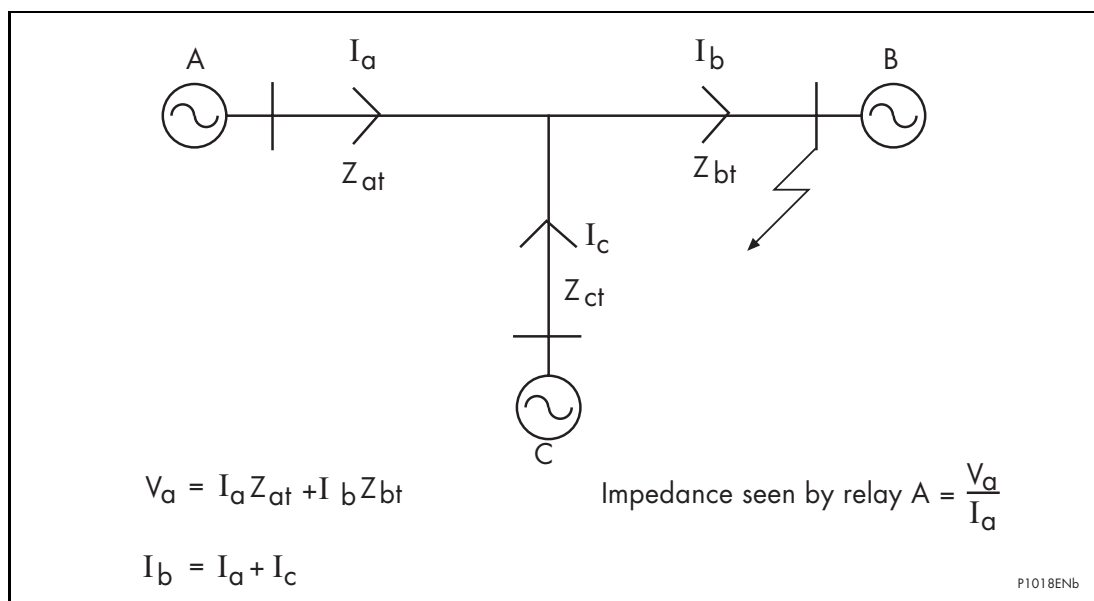


Figure 11: Применение для 3-концевой линии – кажущиеся импедансы измеряемые дистанционными органами ДЗ

3.2.2 Схемы разрешающей логики с переохватом (POR)

Для обеспечения правильной работы схемы POR при внутренних КЗ, реле трех концов линии должны обнаруживать КЗ в любой точке защищаемой линии. Это условие может привести к тому, что для дистанционных органов зоны Z2 будет необходимо задать очень большие уставки охвата, поскольку реле измеряют кажущийся а не фактический импеданс.

Схема POR требует для работы два канала связи. Действие на отключение в данной схеме происходит при срабатывании измерительного органа зоны Z2 и приеме разрешающего сигнала от каждого из противоположных реле. Условие «И» (прием обоих сигналов) может быть реализовано как во внешней схеме так и внутри реле средствами редактирования логической схемы реле (PSL). Несмотря на то, что схема POR может быть применена для защиты трехконцевой линии, сложность схемы обмена сигналами делает данную схему непривлекательной.

3.2.3 Схемы разрешающей логики с недохватом (PUR)

В схеме PUR разрешающий сигнал посылается только при коротком замыкании на защищаемой линии (т.к. посылается в отличие от схемы POR, при срабатывании измерительного органа не Z2, а Z1). Сигнал отключения от схемы PUR формируется при условии срабатывания измерительного органа Z2 и приеме разрешающего сигнала с любого из противоположных концов линии. Это снижает требования к организации каналов связи для схемы PUR по сравнению со схемой POR. При этом может быть использован один канал передачи ВЧ сигнала по линии или схема каналов типа «треугольник». Все это делает более привлекательным использование схемы типа PUR для защиты трехконцевой линии.

Разрешающий сигнал посылается при срабатывании измерительного органа зоны Z1. Следовательно, если хотя бы на одном из концов линии сработал ИО Z1, следовательно КЗ находится в пределах линии. Реле противоположных концов линии действуют без выдержки времени при получении разрешающего сигнала (от конца где сработал Z1) при условии что сработали дистанционные измерительные органы зоны Z2 работающие с переохватом защищаемой линии. Однако имеются два случая, когда это невозможно:

- На рис. 12(л) показан случай, когда короткая отпаyka подключена близко к другому концу линии. В этом случае, при соблюдении условия, что дистанционные органы зон Z1 (у всех реле) должны иметь уставку не более 80% от импеданса самой короткой

связи между подстанциями, образуется участок не входящий ни в одну из зон Z1. Следовательно, все КЗ на этом участке будут отключаться с выдержкой времени зоны Z2.

- На рис. 12(II) показан случай, когда отсутствует подпитка со стороны ПС 'С'. При замыканиях вблизи ПС 'С' реле не работает и следовательно, короткое замыкание будет отключено с выдержкой времени зоны Z2 от реле ПС 'А' и 'В'.

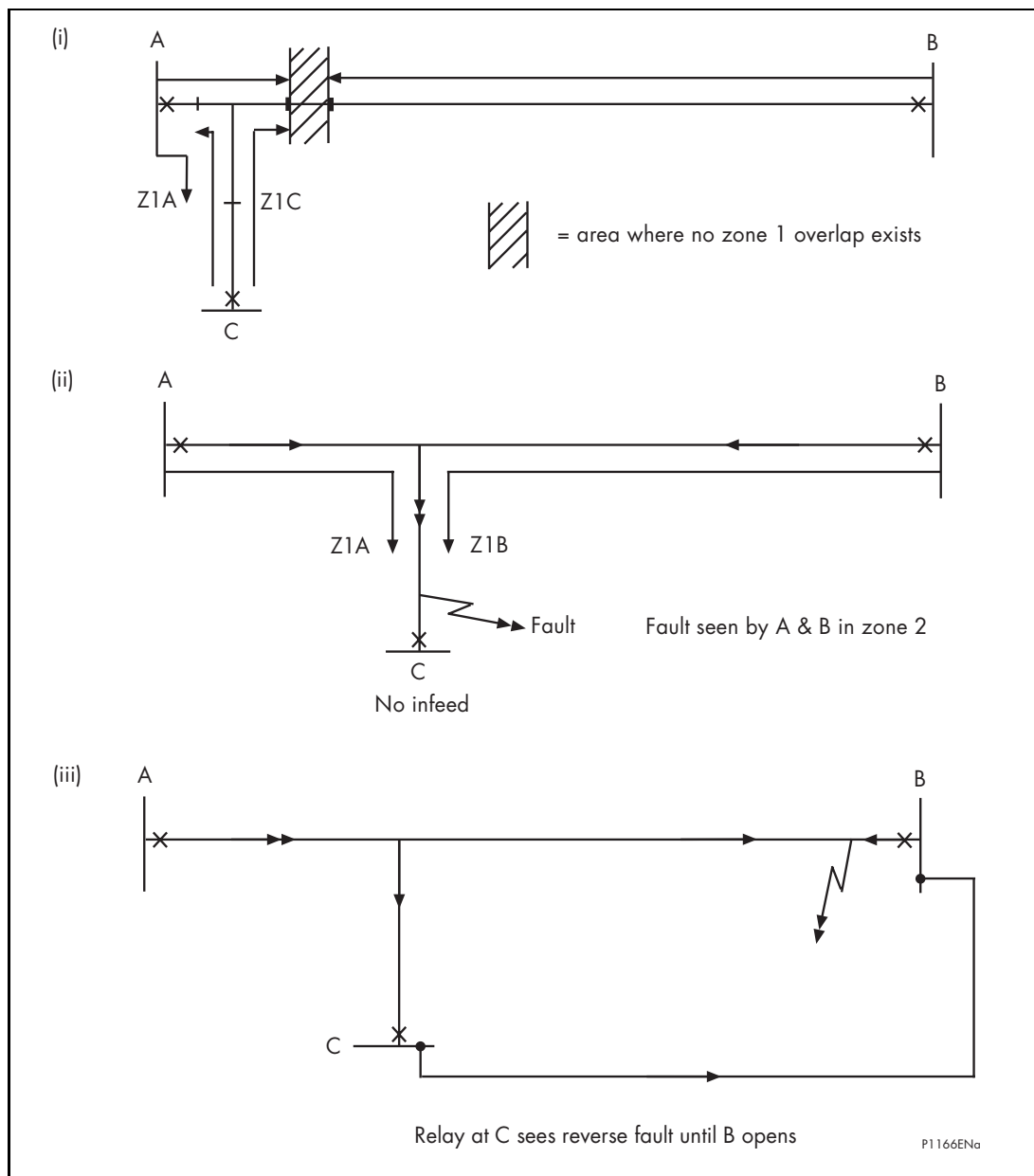


Figure 12: Применение для трехконцевой линии

На рис. 12(III) проиллюстрирована еще одна сложность в применении схемы типа PUR. При возникновении КЗ в точке показанной в этом примере, ток на конце линии 'С' направлен назад (т.е. к шинам). Следовательно, реле 'С' видит замыкание на защищаемой линии как внешнее и не работает до отключения выключателя на ПС 'В', т.е. происходит каскадное отключение повреждения на линии.

3.2.4 Схемы логики блокирования

Схемы блокирующего принципа наиболее пригодны для защиты трехконцевых линий, поскольку быстрое отключение достигается даже в отсутствии подпитки от одного или более концов линии. Кроме этого данная схеме имеет преимущество заключающееся в

том, что для ее работы требуется обычный симплексный ВЧ канал, или организация симплексных каналов по схеме «треугольник».

Основным недостатком данной схемы является случай приведенный на рис. 12(III), при котором в одном из концов линии ток протекает к шинам, при КЗ на защищаемой линии. Поскольку реле 'С' видит это КЗ как внешнее, оно посылает блокирующий сигнал на противоположные концы, блокируя тем самым ускоренное отключение до истечения выдержки времени зоны Z2.

3.3 Подключение ТН

3.3.1 ТН по схеме разомкнутый треугольник (подключение типа V)

Терминал MiCOMho P443 может быть использован при подключении обмоток ТН к зажимам реле С19, С20 и С21, при этом зажим С22 остается не подключенным

Данный тип соединения обмоток ТН не обеспечивает прохождение к реле напряжения нулевой последовательности, а также не обеспечивает реле фазными напряжениями. Следовательно, все защиты, использующие фазные напряжения, должны быть выведены.

Органы направления ЗНЗ, органы ДЗ от замыканий на землю, защита по повышению напряжения нулевой последовательности и функция контроля исправности ТТ использующие для работы фазные напряжения должны быть выведены. Орган направления DEF должен быть конфигурирован на поляризацию напряжением обратной последовательности для исключения использования фазных напряжений. Защиты от повышения и понижения напряжения должны быть конфигурированы на работу в режиме измерения линейных напряжений. Остальные функции защиты могут оставаться в работе.

При использовании схемы ТН 'V', точность измерения фазных напряжений снижается, поскольку реле вычисляет фазные напряжения по векторам линейных напряжений. Т.к. импедансы входов напряжения могут иметь некоторые отличия между собой, поскольку рассчитаны на измерение фазных напряжений, вычисления точны лишь при симметрии системы и одинаковых импедансах. Однако на практике, различия импедансов входов и несимметрия сети, ведет к погрешности при вычислении фазных напряжений. Погрешность вычислений приводит к тому, что повышается уровень (вычисляемого) значения нулевой последовательности. Данная проблема также касается вычисления трехфазной мощности, которое выполняется по одной фазе, т.е. с использованием фазного напряжения.

Точность измерения (вычисления) фазных напряжений может быть повышена путем подключения 3 одинаковых нагрузочных резисторов между входами напряжений фаз (С19, С20, С21) и зажимом С22, что позволяет создать виртуальную точку нейтрали. Сопротивление резисторов должно быть таким, чтобы не выйти за пределы нагрузочных возможностей ТН. Для номинального вторичного напряжения 110В (Vn) рекомендуется использовать резисторы 10кОм $\pm 1\%$ (6Вт).

3.3.2 Заземление вторичных обмоток ТН в одной точке

Терминалы MiCOMho P443 работают корректно при подключении к трем фазам вторичных напряжений ТН заземленных в любой одной точке. Обычно выполняется заземление точки нейтрали или фаза В (в Великобритании заземляется «желтая» фаза).

3.4 Контроль исправности цепи отключения (TCS)

В большинстве схем защиты, цепь отключения от клеммников реле проходит через ряд устройств, таких как предохранители, переключки/накладки, контакты реле, вспомогательные переключатели и другие ряды зажимов. Сложность цепи отключения и ее важность требуют организации контроля ее целостности.

Предлагается несколько вариантов схем контроля цепи отключения выключателя. Следует отметить, что в MiCOM P54x нет уставок напрямую связанных с данной функцией, поскольку основная логика контроля реализуется средствами графического редактора логической схемы реле. Для сигнализации о неисправности ЦО может быть использованы User Alarm (Сигналы Пользователя), текст которых может быть составлен в зависимости от назначения сигнала. Переименование (изменение текста) выполняется при помощи редактора текста меню интегрированного в программный пакет MiCOM S1.

3.4.1 Схема 1

3.4.1.1 Описание схемы

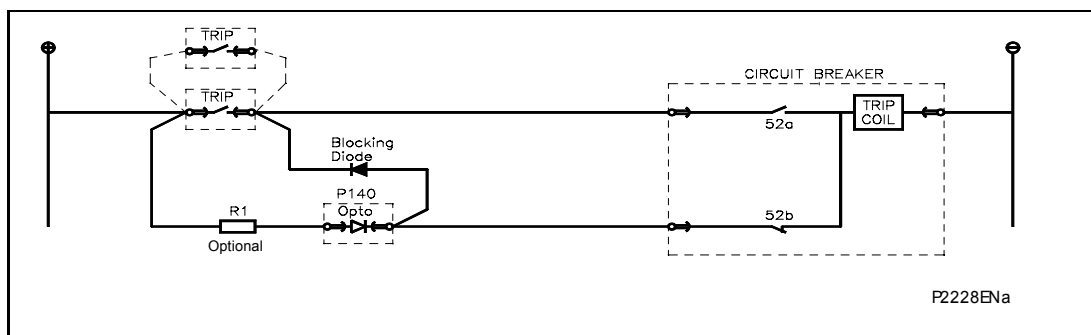


Figure 13: Контроль цепи отключения, Схема 1

Данная схема обеспечивает контроль исправности катушки отключения независимо от включенного или отключенного положения выключателя, но не контролирует цепь отключения при отключенном выключателе. Кроме этого, схема не применима если используется запоминание срабатывания (самоподхват) выходного реле отключения, т.к. оптовход реле оказывается зашунтирован дольше чем выдержка времени таймера возврата (рекомендуемое значение 400мс). Если необходимо контролировать статус (положение) выключателя, то необходимо дополнительно использовать 1 или 2 оптовхода реле. Отметим, что вспомогательный контакт выключателя, обозначенный на схеме как '52a' повторяет положение выключателя, в то время как контакт '52b' противоположен положению выключателя.

При включенном положении выключателя, ток цепи контроля проходит через оптовход, диод развязки и катушку отключения. При отключенном выключателе, ток по прежнему проходит через оптовход, через вспомогательный контакт 52b и далее через катушку отключения. Следовательно, в данной схеме не обеспечивается контроль всей цепи отключения при отключенном выключателе. Неисправность в цепи отключения может быть обнаружена только через 400мс после включения выключателя.

Резистор R1 который устанавливается как необязательная опция служит для ограничения тока до 60mA, предотвращая тем самым нежелательное отключение выключателя при непреднамеренном шунтировании оптовхода. Резистор не должен устанавливаться при уровне напряжения оперативного тока 30/34В или менее, поскольку при этом напряжении не гарантируется надежная работа схемы контроля. В приведенной ниже таблице указаны примерные номиналы резистора и уставки напряжения срабатывания (в меню OPTO CONFIG - КОНФ. ОПТО) оптохода в случае применения данной схемы.

Схема контроля работает правильно и без использования резистора R1, поскольку оптовход автоматически ограничивает ток через соленоид отключения на уровне не более 10mA. Однако, при случайном шунтировании оптовхода произойдет отключение выключателя.



Напряжение оперативного тока (Vx)	Резистор R1 (кОм)	Уставка напряжения оптовхода при использовании R1, В
48/54	1.2	24/27
110/250	2.5	48/54
220/250	5.0	110/125

Примечание: при исключении резистора R1, уставка напряжения оптовхода должна соответствовать напряжению оперативного тока (используемого для питания данной схемы).

3.4.1.2 Логика реле для Схемы 1

На рис. 14 приведена логика реле (PSL) для использования Схемы 1. Для контроля исправности ЦО может быть использован любой из незанятых оптовходов реле. Сигнал на выходе таймера возврата появляется сразу при подаче напряжения на оптовход, возврат таймера (исчезновение сигнала на выходе) при обрыве цепи отключения происходит с заданной выдержкой времени (400мс). Выдержка времени в 400мс предотвращает появление ложной сигнализации неисправности ЦО при кратковременном снижении напряжения вызванного неисправностью во внешних цепях или при шунтировании оптовхода контактами выходного реле отключения с самовозвратом. При наличии сигнала на выходе таймера возврата нормально закрытый контакт выходного реле разомкнут и отсутствует сигнализация (светодиод и User Alarm).

Выдержка в 50мс на срабатывание сигнализации обеспечивает отсутствие ложных сигналов при восстановлении питания реле после исчезновения оперативного тока.

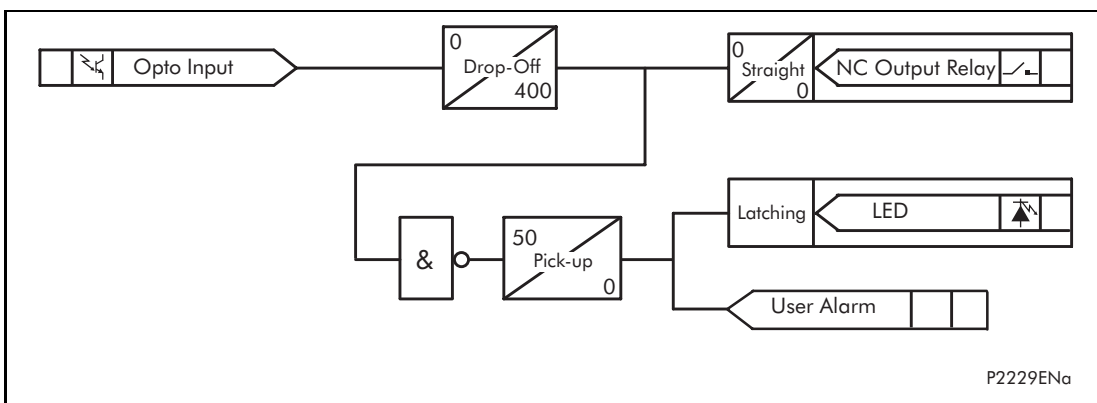


Figure 14: Логика реле при использовании Схемы 1 или 3

AP

3.4.2 Схема 2

3.4.2.1 Описание схемы

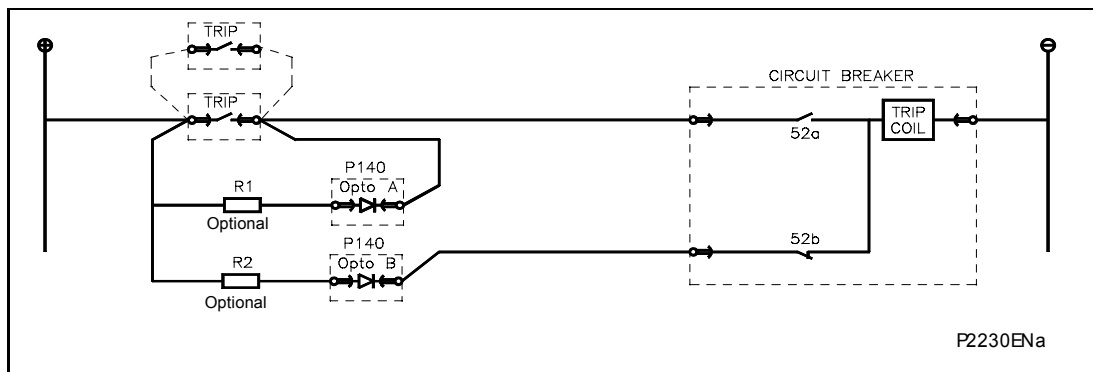


Figure 15: Схема 2 контроля цепи отключения

Аналогично Схеме 1, данная схема обеспечивает контроль катушки отключения выключателя, независимо от его положения, но не обеспечивает контроль всей цепи перед включением выключателя. Однако, использование двух оптовходов позволяет реле корректно отслеживать статус выключателя, поскольку они (оптовходы) подключены последовательно с вспомогательными контактами выключателя. Это достигается назначением оптовхода А на контакт 52а, а оптовхода В на контакт 52b. Реле корректно контролирует статус выключателя при условии что в меню CB CONTROL (КОНТРОЛЬ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ) в ячейке меню “Circuit Breaker Status” (Статус выключателя) задана уставка “52a and 52b” (52а и 52b). Данная схема применима для случая использования фиксации срабатывания (самоподхват) выходного реле отключения, т.к. ток контроля продолжает протекать по контакту 52b при замкнутом в сработавшем положении реле отключения.

При включенном выключателе ток контроля протекает по оптовходу А и катушке отключения. При отключенном выключателе, ток протекает по оптовходу В и катушке отключения. Так же как и в Схеме 1, в данной схеме не обеспечивается контроль ЦО на всем ее протяжении, при отключенном выключателе. Следовательно, все неисправности ЦО будут обнаружены только через 400мс после включения выключателя.

Так же как в Схеме 1, в качестве необязательной опции могут быть установлены резисторы R1 и R2, которые служат для исключения излишнего отключения выключателя в случае непреднамеренного шунтирования любого из оптовходов. Параметры резисторов R1 и R2 аналогичны резистору R1 использованному в Схеме 1.

3.4.2.2 Логика реле для Схемы 2

Логика реле для данной схемы (рис. 15) практически такая же, как и для Схемы 1. Основное отличие схем состоит в том, что для сигнализации неисправности сигналы должны отсутствовать на обоих оптовходах.

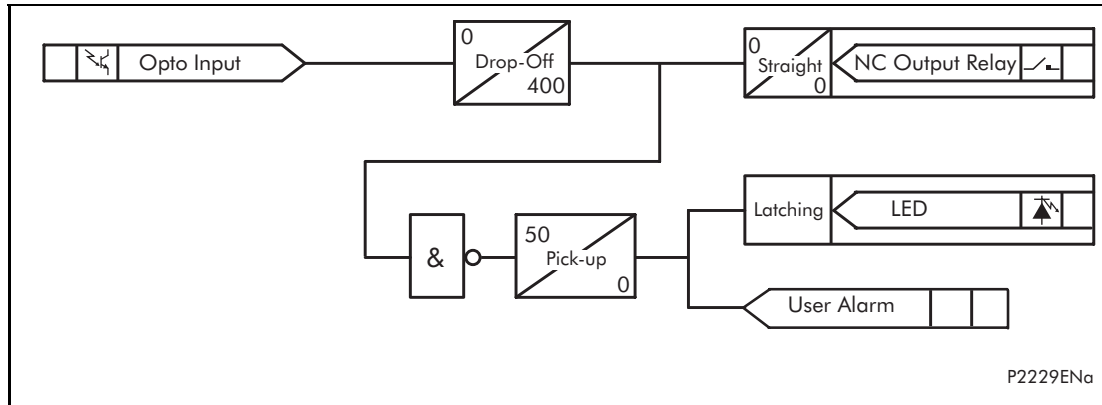


Figure 16: Логика реле при использовании Схемы 2

3.4.3 Схема 3

3.4.3.1 Описание схемы

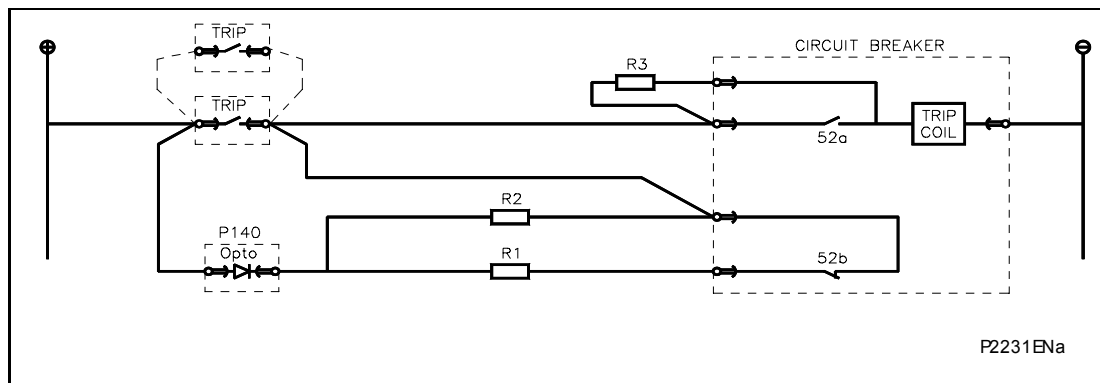


Figure 17: Схема 3 контроля цепи отключения

Схема 3 разработана для контроля катушки отключения при включенном или отключенном выключателе, однако, в отличие от схем 1 и 2 она обеспечивает контроль цепи отключения до включения выключателя. Т.к. в схеме используется лишь один оптовход, данная схемы непригодна в случае фиксации в сработавшем положении выходного реле отключения. Если необходимо контролировать и статус выключателя, необходимо использовать дополнительно 1 или 2 оптовхода.

При включенном выключателе ток контроля протекает по оптовходу, резистору R2 и катушке отключения. При отключенном выключателе, ток протекает по оптовходу, резисторам R1 и R2 (параллельно) и по катушке отключения. В отличие от Схем 1 и 2, ток контроля в данной схеме протекает по цепи отключения в любом положении выключателя обеспечивая тем самым контроль ЦО до включения выключателя.

Также как и в схемах 1 и 2, использование резисторов R1 и R2 позволяет исключить нежелательное отключение выключателя при непреднамеренном шунтировании оптовходов. Однако в отличие от двух других схеме, работа схемы зависима от места включения и величины этих резисторов. Исключение резисторов ведет к неполному контролю цепи отключения. В приведенной далее таблице, указаны значения сопротивлений резисторов и соответствующие им уставки напряжения оптовходов.

Номинальное напряжение оперативного тока (Vx)	Сопротивление резисторов R1 & R2 (кОм)	Сопротивление R3 (кОм)	Уставка напряжения оптоволодов
48/54	1.2	0.6	24/27
110/250	2.5	1.2	48/54
220/250	5.0	2.5	110/125

Примечание: Схема 3 не работает при напряжении оперативного тока 30/34В и ниже.

3.4.3.2 Логика реле для Схемы 3

Логика реле при использовании Схемы 3 идентична логике Схемы 1 (см. на рис. 14)

4. ПРИМЕНЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

4.1 Однополюсное и трехполюсное АПВ

4.1.1 АПВ с задержкой включения и быстродействующее АПВ

Анализ повреждений возникающих на линиях электропередач показывает, что 80-90% из них носят неустойчивый характер.

В большинстве случаев возникновения КЗ, линия вновь ставится под напряжение, если повреждение отключено без замедления и обеспечена достаточная бестоковая пауза необходимая для деионизации изоляционного промежутка. Автоматика повторного включения служит для автоматического повторного включения коммутационного аппарата по истечении заданного времени, истекшего с момента отключения от устройств релейной защиты и применяется в тех случаях, когда преобладают неустойчивые, непостоянные замыкания.

Основные преимущества в использовании АПВ на воздушных линиях электропередачи заключаются в сокращении перерывов в энергоснабжении и снижении эксплуатационных расходов. В некоторых системах использование быстродействующего АПВ позволяет повысить уровень передаваемой мощности по линии при сохранении динамической устойчивости системы при возникновении наиболее вероятных видов повреждений на линии. Использование быстродействующего ОАПВ имеет дополнительные преимущества перед БАПВ благодаря повышению ограничения по передаваемой мощности и меньшего воздействия на систему при повторном включении выключателя.

4.1.2 Логическая последовательность работы функции АПВ

Стандартная конфигурация логической схемы предполагает управление одним выключателем.

АПВ для схем с двумя или 1½ выключателями на присоединение не поддерживается при использовании стандартной логики (хотя существуют схемы PSL обеспечивающие такую работу функции – обратитесь за консультацией в локальное представительство AREVA T&D).

При использовании быстродействующего АПВ (кратковременное отключение) обычно на пуст АПВ выбираются только быстродействующие (мгновенные) защиты. Это делается потому, что для повышения устойчивости системы необходимо возможно быстрое отключение выключателей по концам поврежденной линии.

4.1.3 Рекомендации по выбору уставок

4.1.3.1 Контроль готовности привода выключателя

Контроль готовности привода выключателя (“CB Healthy”) может быть выведен путем назначения оптовхода на данный DDB сигнал и принудительным заданием логического уровня «1» на вход данного DDB сигнала в логической схеме реле. Подключение на вход данного DDB сигнала логического элемента с неподключенным входом и инвертированным выходом обеспечить постоянное присутствие логического уровня «1» на входе DDB “CB Healthy”, что будет означать постоянную готовность привода выключателя. Альтернативным способом отмены контроля готовности привода может быть подключение на оптовход, связанный с DDB “CB Healthy”, нормально замкнутого блок-контакта выключателя (52b).

4.1.3.2 Количество попыток повторного включения

Важным моментом при рассмотрении данного вопроса является способность выключателя выполнять несколько включений на повреждение и отключений КЗ в течении короткого периода времени, а также как подобная работа выключателя отразится на периодичности технического обслуживания.

Тот факт, что от 80 до 80% замыканий носят неустойчивый характер, дает преимущество схеме однократного АПВ. Если статистические данные говорят о том, что значительная часть повреждений не устраняется после первого отключения, могут быть использованы дополнительные циклы АПВ с большими выдержками времени, при условии, что это не нарушает устойчивость системы. Следует отметить, что АПВ с выдержкой времени (DAR) будет всегда трехполюсным.

4.1.3.3 Уставка таймера бестоковой паузы АПВ

Быстродействующее АПВ может быть востребовано для обеспечения стабильности сети с двумя или большим числом источников мощности. При использовании БАПВ время нарушения режима сети должно быть по возможности минимизировано. Это достигается путем выбора для пуска АПВ быстродействующих защит (<30мс), таких как дистанционная защита, дифференциальная защита и быстродействующего выключателя (<60мс).

Обычно для сохранения устойчивой работы сети с двумя источниками (по концам линии) время бестоковой паузы должно быть не более 300мс. Минимально возможное время бестоковой паузы цикла АПВ для системы складывается из времени готовности привода выключателя к повторной работе (в цикле В-О) и времени включения выключателя.

Минимальная длительной бестоковой паузы задаваемая в реле в первую очередь зависит от двух следующих факторов:

- Время деионизации места перекрытия изоляции
- Характеристики выключателя (привод)

Кроме этого важно чтобы защиты полностью вернулись в исходное состояние, для того чтобы после включения на короткое замыкание выполнялся корректный отсчет выдержек времени защит. При использовании быстродействующего АПВ требуется мгновенный (т.е. без задания выдержки времени таймера возврата) возврат защит.

В сети с многочисленными параллельными связями между подстанциями, отключение одной линии не ведет к нарушению синхронизма. Для такого случая применения, рекомендуется использовать АПВ со значительными выдержками времени, для того, чтобы улеглись качания мощности, вызванные коротким замыканием.

4.1.3.4 Время деионизации

Время деионизации места горения дуги зависит от напряжения линии, расстояния между проводниками фаз, тока короткого замыкания и длительности его протекания, скорости ветра и емкостной взаимоиндукции с соседними проводниками. Поскольку самым значительным влиянием является напряжение линии, в приведенной ниже таблице приведено время деионизации в зависимости от напряжения.

Примечание: При использовании быстродействующего АПВ, емкостный ток наведенный от здоровых фаз может увеличить время необходимое для деионизации места горения дуги.

Напряжение линии (кВ)	Минимальное время деионизации (с)
66	0.1
110	0.15
132	0.17
220	0.28
275	0.3
400	0.5

Минимальное время деионизации места горения дуги (трехполюсное отключение).

4.1.3.5 Пример расчета минимального времени бестоковой паузы АПВ

В примере использованы следующие характеристики выключателя и системы:

Время работы выключателя (подача напряжения на СО → прерывание дуги): 50мс (a);

Время отключения выключателя + Время готовности привода (подача напряжения на СО → готовность привода к повторной работе) : 200мс (b);

Время возврата защиты: <80мс (c);

Время включения выключателя (Команда включения → Замыкание контактов): 85мс (d);

Время деионизации для линии 220кВ:

280мс (e) при трехполюсном отключении. (560мс при однополюсном отключении)

Минимальная уставка таймера бестоковой паузы задаваемая в реле должна быть не менее:

$(a) + (c) = 50 + 80 = 130\text{мс}$, для обеспечения возврата защит;

$(a) + (e) + (d) = 50 + 280 - 85 = 245\text{мс}$, для обеспечения деионизации (3-ф. отключение)
 $= 50 + 560 - 85 = 525\text{мс}$, для обеспечения деионизации (1-ф. отключение)

На практике, для учета допустимых погрешностей, добавляются несколько периодов (промышленной частоты сети) и таким образом уставка *Dead Time 1* (Время ТАПВ) должна быть не менее 300мс, а уставка *1Pole Dead Time* (Время ОАПВ) не менее 600мс.

Таким образом, общее время бестоковой паузы для системы может быть определено путем добавления (d) к выбранным уставкам и затем вычитания (a). В результате получаем 335мс и 632мс, соответственно.

4.1.3.6 Уставка таймера готовности АПВ

На выбор уставки таймера готовности АПВ к повторному действию оказывают влияние ряд факторов, например, такие как:

- Вероятность КЗ/Накопленный опыт – в тех случаях, когда высока вероятность замыканий в результате ударов молнии, требуется небольшое время готовности АПВ, во избежание ненужной блокировки при неустойчивых КЗ
- Время завода пружин – в случае использования быстрого АПВ, время готовности должно быть не менее времени необходимого для завода пружин. Может потребоваться уставка таймера готовности не менее 5сек для восстановления работоспособности привода выключателя после выполнения цикла ОВ, прежде чем он будет снова готов для выполнения операций цикла О-ВО. Это время зависит от производительности (расчетных характеристик) выключателя. Для АПВ с выдержкой времени, в этом нет необходимости, поскольку время бестоковой паузы может быть продлено за счет интервала времени отведенного на подтверждение готовности привода (задается уставкой – ‘*CB Healthy Time*’ (время готовности выключателя) или выдержкой времени таймера запрета АПВ после ручного включения ‘*AR Inhibit Time*’).
- Техническое обслуживание – излишняя работа коммутационных аппаратов, вызванная малым временем готовности АПВ ведет к сокращению межремонтных сроков.
- Время готовности АПВ обычно задается больше чем выдержка времени таймера зоны Z2 (tZ2).

4.2 Контроль исправности вторичных цепей ТТ

Для предотвращения срабатывания функции при отсутствии неисправности в системе, предусмотрены уставки “CTS VN< Inhibit” (*Запрет контроля ТТ по напряжению нулевой последовательности*) и “CTS IN> Inhibit” (*Запрет контроля ТТ по току нулевой последовательности*). Так, например, уставка “CTS VN< Inhibit” может быть установлена на уровне не менее 120% от максимального напряжения нулевой последовательности в нормальном режиме работы системы. Уставка “CTS IN> set” обычно должна быть ниже минимального тока нагрузки. Выдержка таймера сигнализации “CTS Time Delay” (*Задержка сигнализация неисправности ТТ*) обычно устанавливается на уровне 5 сек.

В тех случаях, когда величина напряжения нулевой последовательности при замыканиях на землю непредсказуема, орган (блокировки) может быть выведен для предотвращения блокировки органа защиты при возникновении повреждения в сети.

4.3 Контроль состояния выключателя

4.3.1 Уставка суммы отключенных токов

В тех случаях, если линии электропередачи, оснащенные масляными выключателями, подвержены частым коротким замыканиям, замена масла в коммутационных аппаратах в значительной степени определяет стоимость обслуживания распределительного устройства. В общем случае, замена масла производится после выполнения выключателем определенного количества операций по отключению токов короткого замыкания. Однако это может привести к неоправданно частой замене масла, если отключались токи меньше чем расчетные и следовательно ресурс масла не исчерпан полностью. Сумматор токов, отключаемых каждым из полюсов выключателя $\sum I^n$, служит для более точной оценки состояния дугогасящих камер выключателя.

Диэлектрические характеристики масла у масляных выключателей снижаются пропорционально функции $\sum I^2 t$. При этом ‘I’ это ток короткого замыкания отключаемый выключателем, и ‘t’ – время горения дуги в дугогасительной камере (не путать с временем отключения КЗ). Поскольку время горения дуги не может быть определено точно, обычно задается уставка в реле на суммирование суммы квадратов токов ($n=2$).

Для других типов выключателей, особенно в установках более высокого уровня напряжения, практический опыт может показать неприемлемость уставки $n=2$. В таких случаях, значение показателя степени может быть задано равным меньшим, типовые значения от 1.4 до 1.5. Срабатывание функции на сигнал в этом случае, например, может служить признаком необходимости в проверке давления газа/вакуума в дугогасительной камере. Диапазон регулирования показателя степени суммируемых токов ‘Broken Iⁿ’ регулируется в диапазоне от 1.0 до 2.0 с шагом 0.1. Важно отметить, что график и объем технического обслуживания должен полностью согласовываться с инструкциями завода-изготовителя оборудования.

4.3.2 Уставка количества допустимых отключений

Каждое срабатывание выключателя ведет к некоторому износу его механизмов. Следовательно, текущее обслуживание выключателя, например, смазка механизмов, может базироваться на подсчете количества выполненных операций. Следовательно, задание соответствующей уставки с действием на сигнал позволяет информировать эксплуатационный персонал о необходимости выполнения превентивного обслуживания данного выключателя. Если техническое обслуживание выключателя не проведено, реле может быть конфигурировано на блокирование АПВ при достижении следующего уровня уставки контроля количества операций. Это предотвращает дальнейшие включения выключателя, если техническое обслуживание выключателя не отвечает требованиям/инструкциям производителя коммутационного данного аппарата.

Некоторые типы выключателей, такие как, например, масляные выключатели, требуют проведения технического обслуживания, после выполнения определенного количества операций отключения тока КЗ, поскольку при каждом отключении происходит коксование (науглероживание) масла снижающее его диэлектрические характеристики. Уставка предупредительной ступени (*No CB Ops Maint*) может быть, например, использована для сигнализации необходимости взятия проб масла для испытаний на диэлектрическую прочность или проведения технического обслуживания. Уставка блокирования при достижении предельного количества операций (*No CB Ops Lock*) может быть использована для блокирования повторного включения выключателя, поскольку выполненное им количество операций не гарантирует успешного отключения очередного КЗ. Это позволяет снизить вероятность воспламенения масла или взрыва выключателя.

4.3.3 Уставка контрольного времени срабатывания

Замедление во времени выполнения операции может служить признаком необходимости ревизии привода выключателя. В реле предусмотрены две ступени действующие на сигнал и блокирование очередного включения (*'CB Time Maint / CB Time Locout'*), уставки которых регулируются в диапазоне от 5 до 500 мс. Время устанавливается в соответствии с временем отключения по техническим характеристикам выключателя.

4.3.4 Уставка недопустимой частоты КЗ

Выключатель может быть рассчитан на выполнение определенного количества коротких замыканий, после которого необходимо проведение технического обслуживания. Однако успешная многократная работа выключателя за короткий интервал времени может существенно увеличить объем работ при проведении технического обслуживания. По этой причине функция контроля технического состояния выключателя предусматривает возможность задания уставки счетчика частоты КЗ (*'Fault Freq Count'*) допустимой по техническим характеристикам выключателя за заданный интервал времени (*'Fault Freq Time'*). Предусмотрено две ступени действующие на сигнал и блокирование включения выключателя, соответственно.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ТРАНСФОРМАТОРАМ ТОКА

5.1 Точность работы на границе Зоны Z1 (RPA)

$$V_k \geq K_{RPA} \times I_{F Z1} \times (1 + X/R). (R_{CT} + R_L)$$

Где:

V_k = Требуемое значение точки перегиба (Вольт)

K_{RPA} = Фиксированное значение коэффициента (типо)размерности = **всегда 0.6**

$I_{F Z1}$ = максимальное значение тока КЗ на границе зоны Z1 (А)

X/R = Отношение реактивное/активное сопротивление системы

R_{CT} = сопротивление постоянному току вторичной обмотки ТТ (Ω)

R_L = сопротивление одного проводника от ТТ до реле (Ω)

5.2 Работа Зоны Z1 при близких КЗ

Для всех воздушных или кабельных линий должна проводиться дополнительная проверка, если отношение импедансов системы $SIR = 2$.

SIR – System Impedance Ratio (отношение импеданса системы к импедансу линии)

$$V_k \geq K_{max} \times I_{F max} \times (R_{CT} + R_L)$$

Где:

V_k = Требуемое значение точки перегиба (Вольт)

K_{max} = Фиксированное значение коэфф. (типо)размерности = **всегда 1.4**

$I_{F max}$ = Максимальный вторичный ток КЗ (А).

R_{CT} = сопротивление постоянному току вторичной обмотки ТТ (Ω)

R_L = сопротивление одного проводника от ТТ до реле (Ω)

После выполнения расчетов, выбирается большее из значений напряжения точки перегиба характеристики намагничивания трансформатора тока. Следует отметить, что нет необходимости в повторении расчетов для коротких замыканий на землю, поскольку расчет точности при м/ф замыканиях является наиболее тяжелым случаем определяющим типоразмерность требуемого для использования трансформатора тока.

5.3 Рекомендуемые классы ТТ (Британский и МЭК)

Могут быть использованы трансформаторы тока класса X, у которых напряжение точки перегиба больше или равно расчетному значению.

Могут быть использованы трансформаторы тока класса 5P, у которых этому условию удовлетворяет эквивалент напряжения точки перегиба вычисленный по формуле:

$$V_k = (VA \times ALF) / I_n + (R_{CT} \times ALF \times I_n)$$

Где:

VA = номинальная нагрузка, ВА

ALF = Accuracy Limit Factor (кратность обеспечивающая работу в классе)

I_n = номинальный ток трансформатора тока

5.4 Определение напряжения V_k для ТТ класса «С» стандарта IEEE

При использовании американского/IEEE стандарта для спецификации ТТ, то для определения эквивалентного значения V_k (напряжение точки перегиба характеристики

намагничивания ТТ в соответствии со стандартом МЭК) можно выполнить проверку по классу напряжения «С». Формула расчета эквивалентного значения :

$$V_k = [(\text{напряжение по классу С, в Вольтах}) \times 1.05] + [100 \times RCT]$$

$$V_k = \text{Требуемое значение точки перегиба (Вольт)}$$

$$RCT = \text{сопротивление постоянному току вторичной обмотки ТТ } (\Omega)$$

6. НОМИНАЛ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ПИТАНИЯ ОПЕРАТИВНЫМ ТОКОМ

В разделе по безопасности настоящего руководства, указано максимальное значение номинального тока предохранителей равное 16А. Для обеспечения согласования с предохранителями расположенными ближе к источнику питания, часто требуется использование предохранителей меньшего номинала. Рекомендуется стандартное согласование между предохранителями номиналов 6А и 16А. Допускается использование низковольтных предохранителей gG с высокой разрывной способностью (HRC), на напряжение не менее 250В, и соответствующих требованиям стандарта IEC60269-2 для общего применения типа. Эти предохранители эквивалентны по своим характеристикам предохранителям типа NIT/TIA с маркировкой в виде красной точки (индикация высокой разрывной способности).

В приведенной ниже таблице указано рекомендуемое максимальное количество терминалов (реле) подключаемых под одну линию питания. Эти рекомендации применимы к терминалам серии MiCOM Px40 аппаратной версии «С» или выше, поскольку в этих устройствах имеется ограничение броска тока, для предотвращения перегорания предохранителя при включении питания.

Максимальное количество терминалов MiCOM Px40 подключаемых под один предохранитель				
Номинальное напряжение батареи	6А	предохранитель 10А	предохранитель 15 или 16А	предохранитель > 16А
От 24 до 54В	2	4	6	Не допускается
От 60 до 125В	4	8	12	Не допускается
От 138 до 250в	6	10	16	Не допускается

В качестве альтернативы для защиты цепей питания может быть использован миниатюрный автоматический выключатель.