

Рекомендации по выбору уставок функции дифференциально- фазной защиты линии электропередачи (ДФЗ)

ЭКРА.650323.091 Д7

Авторские права на данную документацию принадлежат НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары).
Снятие копий или перепечатка разрешается только по согласованию с разработчиком.

Содержание

1 Область применения Методики	5
2 Термины и определения	5
3 Сокращения	6
4 Общие положения.....	7
5 Дифференциально-фазная защита линии электропередачи.....	7
5.1 Описание функции «Дифференциально-фазная защита»	7
5.1.1 Принцип действия ДФЗ.....	8
5.1.2 Действия защиты при КЗ в сети.....	9
5.1.3 Поведение защиты при реверсе мощности.....	12
5.1.4 Работа защиты на ВЛ с ответвлениями	13
5.1.5 Работа защиты в сети с тяговой нагрузкой	14
5.1.6 Пуск ВЧ при выводе защиты.....	14
5.1.7 Сигнализация пуска на отключение	15
5.1.8 Совместная работа с микропроцессорными защитами.....	15
5.2 Расчет и выбор параметров настройки (уставок) и алгоритмов функционирования функции «Дифференциально-фазная защита»	17
5.2.1 Выбор уставки токовых органов с пуском по вектору разности	17
5.2.2 Выбор уставки токовых органов с пуском по току обратной последовательности I_2	19
5.2.3 Выбор уставки пусковых органов по току нулевой последовательности $3I_0$	23
5.2.3.6 Дополнительные замечания по выбору уставок ПО с пуском по току нулевой последовательности.....	26
5.2.4 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности M_0	26
5.2.5 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2	28
5.2.6 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1	28
5.2.7 Орган манипуляции. Коэффициент комбинированного фильтра токов.....	29
5.2.8 Орган сравнения фаз. Выбор уставки по углу блокировки	31
5.2.9 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{откл}$	32
5.2.10 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$	35
5.2.11 Назначение программных переключателей ХВ и элементов выдержек времени.....	38
5.3 Пример расчета уставок ДФЗ, на ЛЭП 220 кВ с двусторонним питанием без ответвлений.....	40
Приложение А (рекомендуемое). Удельные параметры ВЛ.....	49
Приложение Б (рекомендуемое). Функциональные логические схемы	50

1 Область применения Методики

Настоящие рекомендации освещают вопросы выбора уставок дифференциально-фазной защиты линии (ДФЗ) и распространяются на устройства ООО НПП «ЭКРА», ШЭ 2607 081; и другие устройства в которых может использоваться данный функционал.

2 Термины и определения

Измерительный трансформатор — электрический трансформатор, предназначенный для измерения и контроля напряжения, тока или фазы электрического сигнала переменного тока промышленной частоты (50 или 60 Гц) в контролируемой цепи.

Трансформатор тока – измерительный трансформатор, в котором при нормальных условиях применения вторичный ток практически пропорционален первичному току и сдвинут относительно него по фазе на угол, близкий к нулю.

Класс точности – обобщенная характеристика трансформатора тока, определяемая установленными пределами допускаемых погрешностей при заданных условиях работы.

Вольтамперная характеристика – выраженная графически или табличным способом зависимость между действующими значениями тока и напряжения на вторичной обмотке при приложении к последней синусоидального напряжения, при разомкнутой первичной обмотке.

Автоматическое повторное включение – автоматическое включение выключателей присоединения, отключенных устройствами релейной защиты или отключившихся самопроизвольно, для быстрого восстановления питания потребителей, межсистемных и внутренних связей, а также для улучшения условий сохранения устойчивости энергосистемы.

Однофазное автоматическое повторное включение – применяемое на присоединениях, снабженных пофазными выключателями, автоматическое включение фазы, отключенной устройством релейной защиты при однофазном КЗ.

Органы (пусковые, блокирующие, отключающие) релейной защиты и автоматик и – структурно-функциональные элементы релейной защиты и автоматики. Органы релейной защиты и автоматики бывают реализованы аппаратно, программно или программно-аппаратно.

Селективность – свойство защиты (функции, устройства, комплекса РЗА, системы РЗА) выделять и отключать только поврежденное присоединение электроэнергетической системы.

Система РЗА – совокупность комплексов РЗА присоединений электроэнергетической сети.

Уставки – задаваемые параметры срабатывания органов устройств РЗА.

Чувствительность – свойство устройства релейной защиты отличать ненормальный режим от нормального. Характеризуется отношением минимального значения входной воздействующей электрической величины при повреждении присоединения или его ненормальном режиме к уставке для устройств релейной защиты, реагирующих на возрастающие в условиях повреждения или ненормального режима величины. Для устройств релейной защиты, реагирующих на уменьшающиеся в условиях повреждения или ненормального режима величины – отношением уставки к максимальному значению входной воздействующей электрической величины при повреждении присоединения или его ненормальном режиме.

Устройство релейной защиты и автоматики (УРЗА) – конструктивно завершенное аппаратное или программно-аппаратное изделие, выполняющее одну или несколько функций релейной защиты и/или автоматики, способное функционировать автономно.

3 Сокращения

АПК	аппаратура проверки ВЧ канала
БНН	блокировка при неисправностях в цепях напряжения
БТН	бросок тока намагничивания
В1, В2	выключатели 1, 2
ВЛ	воздушная линия электропередачи
ВЧ	высокая частота
ВЧБ	высокочастотная блокировка
ДФЗ	дифференциально-фазная защита линии
ИО	измерительный орган
КЗ	короткое замыкание
ЛЭП	линия электропередачи
МП	микропроцессор (микропроцессорный)
МТЗ	максимальная токовая защита
НВЧЗ	направленная высокочастотная защита линии
ОАПВ	однофазное автоматическое повторное включение
ОМ	орган манипуляции
ОМП	определение места повреждения
ОСФ	орган сравнения фаз
ПО	пусковой орган
ПП	приемопередатчик
ПУЭ	правила устройства электроустановок
РЗ	резервные защиты
РЗА	релейная защита и автоматика
РННП	реле напряжения нулевой последовательности
РПВ	реле положения включено

ЭКРА.650323.091 Д7

РПН	регулировка под нагрузкой
РПО	реле положения отключено
РТНП	реле тока нулевой последовательности
РС	реле сопротивления
РУ	руководящие указания по релейной защите
ТН	измерительный трансформатор напряжения
ТТ	трансформатор тока
УРОВ	устройство резервирования отказа выключателя
ЭДС	электродвижущая сила

4 Общие положения

Шкаф ШЭ2607 081 предназначен для защиты двухконцевых линий электропередачи напряжением 110 – 330 кВ.

Шкаф содержит:

- дифференциально-фазную защиту линии (ДФЗ),
- направленную ВЧ защиту линии обратной последовательности (НВЧЗ),
- направленную ВЧ защиту нулевой последовательности (ВЧБ),
- максимальную токовую защиту (МТЗ),
- устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ),

Защита содержит релейную и высокочастотную части.

Релейная часть защиты выполнена на базе микропроцессорного терминала типа БЭ2704.

В состав высокочастотной части входят: приемопередатчик, обеспечивающий передачу ВЧ сигналов по линии, и аппаратура автоматического контроля канала связи.

5 Дифференциально-фазная защита линии электропередачи

5.1 Описание функции «Дифференциально-фазная защита»

Функциональная схема логической части устройств, реализованная в терминале, представлена в приложении Б на рисунках Б.1 и Б.2, где цифрами обозначены порядковые номера логических элементов. Далее по тексту ссылки на номера этих логических элементов будут представлены следующим образом: (1), (2), (3) и т.д.

В зависимости от состояния ПО и ИО, программируемых накладок ХВ, определяющих режим работы отдельных узлов схемы, значений выдержек времени и сигналов на дискретных входах терминала, логическая часть защиты формирует выходные сигналы во внешние цепи.

В терминале БЭ2704 предусмотрены две трёхфазные группы токовых входов (В1 и В2) для подключения токовых цепей от измерительных ТТ.

При использовании второй группы цепей тока, в пункте меню терминала [050251] ТТ, ТН / ТТ / ТТ В2 | используется, происходит программное суммирование токов В1 и В2.

При этом токовые ПО защиты реагируют на суммарное значение токов.

5.1.1 Принцип действия ДФЗ

Защита одного участка линии электропередачи включает два полукомплекта, расположенных по обоим концам защищаемого участка, состоящих из микропроцессорного терминала релейной части защиты и соответствующего высокочастотного оборудования.

Принцип действия защиты основан на сравнении фаз токов, получаемых от комбинированных фильтров токов $I_1 + kI_2$, по обоим концам защищаемой линии. Фаза токов передается с одного конца защищаемой линии на другой посредством токов высокой частоты по каналу, в качестве которого используется защищаемая линия.

ОМ ВЧ передатчиком обеспечивает работу последнего с интервалами, приблизительно равными половине периода промышленной частоты. Поэтому передатчик генерирует токи высокой частоты пакетами, длительность которых примерно равна интервалу между ними. Фаза этих ВЧ пакетов соответствует фазе сигнала на выходе комбинированного фильтра токов $I_1 + kI_2$.

ОСФ токов определяет, где находится повреждение: в зоне действия защиты или вне ее. Определение осуществляется по сдвигу ВЧ пакетов, посылаемых передатчиками обоих концов линии, т.е. в конечном счете – по углу сдвига фаз между векторами токов $I_1 + kI_2$ по концам защищаемой линии. При КЗ на защищаемой линии этот угол равен или близок к нулю. При внешних КЗ он составляет величину порядка 180° . Вследствие этого, при КЗ вне зоны действия защиты передатчики, установленные на обоих концах линии, работают неодновременно: высокочастотные пакеты, генерируемые ими, сдвинуты по фазе примерно на полпериода промышленной частоты, в ВЧ канале имеется практически сплошной ВЧ сигнал, и защита блокируется (см. рисунок 1).

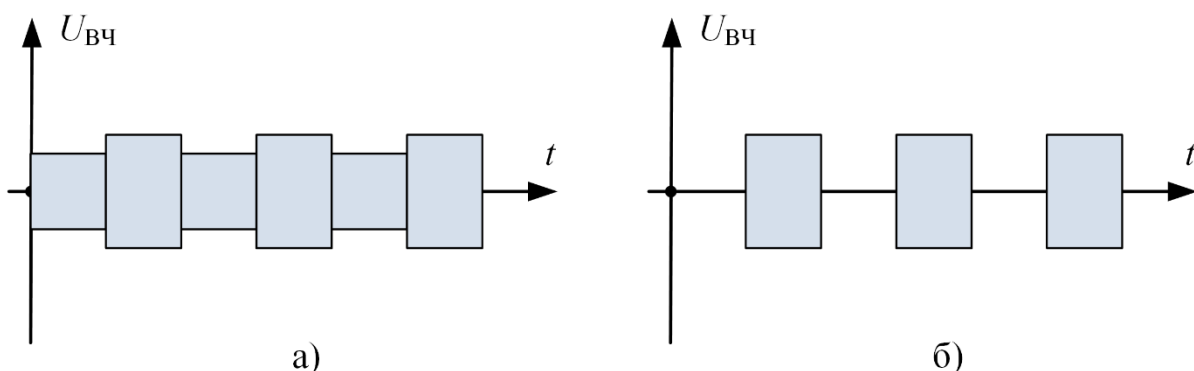


Рис. 1 – ВЧ сигнал в канале связи:

а – внешнее КЗ;

б – КЗ на защищаемой ВЛ

При повреждении в защищаемой зоне передатчики работают одновременно, и посылаемые ими пакеты примерно совпадают по фазе, образуя паузы в ВЧ сигнале. При превышении длительности паузы заданной величины, определяемой углом блокировки, происходит действие на отключение выключателя.

В нормальном режиме работы линии электропередачи все реле обоих полуккомплектов защит, установленных по концам линии, находятся в несработанном состоянии, т.к. их уставки отстраиваются от нагрузочного режима с учетом допустимых небалансов. Выходные цепи защит находятся в несработанном состоянии и ВЧ передатчики полуккомплектов не запущены.

5.1.2 Действия защиты при КЗ в сети

5.1.2.1 Несимметричные повреждения вне защищаемой зоны

Пуск защиты каждого из полуккомплектов защиты при несимметричном КЗ может осуществляться ПО, реагирующими на симметричные составляющие тока обратной или нулевой последовательности или разность фазных токов. Цепь $I_{2\text{ бл}}$, $3I_{0\text{ бл}}$, $DI_{1\text{ бл}}$, $DI_{2\text{ бл}}$, $I_{л\text{ бл}}$ через логический элемент «ИЛИ» (51) действует на пуск передатчика (см. рисунок Б.1 - Узел ДФЗ). Сигнал пуска передатчика запоминается элементом времени DT (57) на время 0,6 с, что необходимо для обеспечения селективности защиты при внешнем симметричном КЗ. Этот сигнал через логический элемент «Запрет» (45) подается на вход разрешения манипулированного сигнала ОМ «Разр.манипул.».

Выходной сигнал ОМ «Выход» управляет пуском ВЧ передатчика в соответствии с фазой выходного сигнала комбинированного фильтра токов $I_1 + kI_2$. ВЧ передатчик каждого полуккомплекта защиты генерирует в ВЧ канал высокочастотные пакеты, длительность которых приблизительно равна половине периода промышленной частоты.

При повреждениях вне защищаемой зоны токи на входах ОМ обоих полуккомплектов находятся в противофазе и ВЧ пакеты от разных передатчиков следуют друг за другом, образуя непрерывный ВЧ сигнал (см. рисунок 1 а). На входе каждого из приемников обоих полуккомплектов присутствует ВЧ сигнал, а на выходе каждого из приемников – логический сигнал «0», который подается на блокирующий вход ОСФ, что препятствует прохождению сигнала, подготавливающего цепь отключения.

Подготовка цепи отключения производится ПО $I_{2\text{ от}}$, $3I_{0\text{ от}}$, $DI_{1\text{ от}}$, $DI_{2\text{ от}}$, $I_{л\text{ от}}$ через логический элемент «ИЛИ» (22).

Учитывая влияние погрешности ТТ, а также не идентичность настройки ОМ обоих полуккомплектов, при внешних КЗ в сигнале на выходе приемника могут появиться паузы. Для исключения в этом случае излишних срабатываний, в ОСФ задается угол блокировки защиты, регулируемый в пределах $\pm (40 - 65)$, °.

Для исключения излишнего срабатывания защиты в первый момент внешнего КЗ предусмотрены задержки сигналов:

- нерегулируемая задержка, выполненная на элементе задержки ДТ (23), выход которого через мультиплексор М (18) подключен к входу разрешения работы ОСФ,
- регулируемая задержка с временем (0,001 – 0,150), с, выполненная на элементе задержки [103351] ДТ1_ДФЗ (13).

При внешнем КЗ за выключателем первым повреждение чувствует ОМ полукомплекта защиты А, затем, через время пробега Δt , его чувствует ОМ полукомплекта защиты Б, а далее ВЧ сигнал должен достигнуть приемника защиты А. Таким образом, общее время сдвига ВЧ пакетов будет не менее $2\Delta t$. С учетом не идентичности переходных процессов в ТТ сдвиг ВЧ пакетов может быть еще больше, поэтому выдержка времени элемента задержки Д1_ДФЗ (13) берется с запасом, порядка 0,01 с. При ТТ разных типов по концам ВЛ время может быть увеличено до 0,15 с.

Установкой программной накладки ХВ6_ДФЗ, в пункте меню [103406] ДФЗ / Логика работы / ХВ6_ДФЗ ПО Д1 в состояние выведен, предусмотрена возможность принудительного вывода ПО тока Д1.

Установкой программной накладки ХВ7_ДФЗ, в пункте меню [103407] ДФЗ / Логика работы / ХВ7_ДФЗ ПО И0, в состояние выведен предусмотрена возможность принудительного вывода ПО тока $3I_0$.

5.1.2.2 Симметричные повреждения вне защищаемой зоны

В связи с отсутствием при симметричных КЗ составляющих обратной последовательности, пуск ВЧ передатчика обеспечивается путем фиксации предшествующего несимметричного режима за счет кратковременного срабатывания ПО $DI_{\text{бл}}$ или ПО $I_{2\text{ бл}}$ через логический элемент «ИЛИ» (51) (см. рисунок Б.1 - Узел ДФЗ). Сигнал пуска передатчика запоминается с помощью элемента времени ДТ (57) с задержкой на возврат на 0,6 с.

Цепи отключения защиты подготавливаются сигналами кратковременного срабатывания ПО $DI_{\text{от}}$ или $I_{2\text{ от}}$ через логический элемент «ИЛИ» (22), а также ИО $Z_{\text{от АВ}}$, $Z_{\text{от ВС}}$, $Z_{\text{от СА}}$ через элементы «ИЛИ» (28), «И» (29) по цепи входа элемента «Запрет» (31) и логической схемы «И» (32).

Фиксация кратковременного срабатывания ПО в сторону отключения осуществляется обратной связью с выхода элемента «Запрет» (34) на второй вход элемента «ИЛИ» (33) на время 0,2 с, определяемое элементом времени ДТ (35), и контролируется ИО $Z_{\text{от}}$ на логической схеме «И» (32).

Вывод канала отключения при трехфазном КЗ до того момента, когда хотя бы на одном конце останавливается пуск передатчика, осуществляется с помощью элемента задержки ДТ (35) через 0,2 с после начала КЗ. Это обеспечивает селективность защиты при внешних симметричных повреждениях при одновременной остановке работы ПП.

Рассматриваемая схема подготовки канала отключения при трехфазном КЗ построена так, что не происходит повторного пуска цепи отключения при отключении внешнего трехфазного КЗ, когда могут кратковременно появиться составляющие обратной последовательности. Указанное определяется тем, что сигнал срабатывания ИО $Z_{от}$ запрещает прохождение сигнала по цепи отключения на элементе «Запрет» (31) через время 0,2 с, определяемое элементом времени DT (30).

При токах, достаточных для действия ПО $I_{л\ б\ л}$ и $I_{л\ от}$, пуск защиты при симметричных внешних КЗ происходит также от этих ПО, по аналогии со случаем внешнего несимметричного КЗ. Наличие ПО $I_{л\ б\ л}$ обеспечивает пуск ВЧ передатчика на обоих концах ВЛ при внешних симметричных повреждениях, сопровождающихся протеканием больших токов. Благодаря этому обеспечивается правильная работа защиты даже в том случае, когда на одном из концов ВЛ под влиянием тока небаланса в симметричном режиме срабатывает ПО $I_{2\ от}$.

5.1.2.3 Повреждения на защищаемой линии

Пуск защиты при симметричных и несимметричных КЗ на защищаемой ВЛ происходит также, как и в рассмотренных выше случаях КЗ вне защищаемой зоны. После набора выдержки времени элементом DT (23) в канале отключения, благодаря наличию пауз в сигнале приема токов ВЧ (см. рисунок 1 б) срабатывает ОСФ, и защита, через выдержку времени, определяемую элементом времени DT1_ДФЗ (13), действует на отключение выключателей В1, В2 или пуск внешнего устройства ОАПВ.

При срабатывании защиты на отключение производится запрет пуска ВЧ передатчика по цепи: выход элемента «ИЛИ» (2) (см. рисунок Б.2 - Узел ВЧЗ), элемент времени с задержкой на срабатывание DT (42) (см. рисунок Б.1 - Узел ДФЗ), элемент времени с задержкой на возврат DT (43), запрещающий вход элемента «Запрет» (40) и, через элемент «ИЛИ» (44), на запрещающий вход элемента «Запрет» (45). Кроме того, при этом производится сброс временной памяти элемента времени DT (57) в канале блокировки. Все это необходимо сделать к моменту отключения выключателя на ближнем конце ВЛ, если на дальнем конце выключатель более медленный. Кроме того, шунтируется ОСФ на элементе «И» (19) с выхода элемента времени DT (23) на вход элемента «ИЛИ» (14).

При срабатывании защиты предусмотрен подхват ее пуска при симметричном КЗ (и при междофазном КЗ при наличии внешней тяговой нагрузки) ИО $Z_{от}$ на элементе «И» (36). Последнее существенно, например, при медленнодействующих выключателях.

5.1.3 Поведение защиты при реверсе мощности

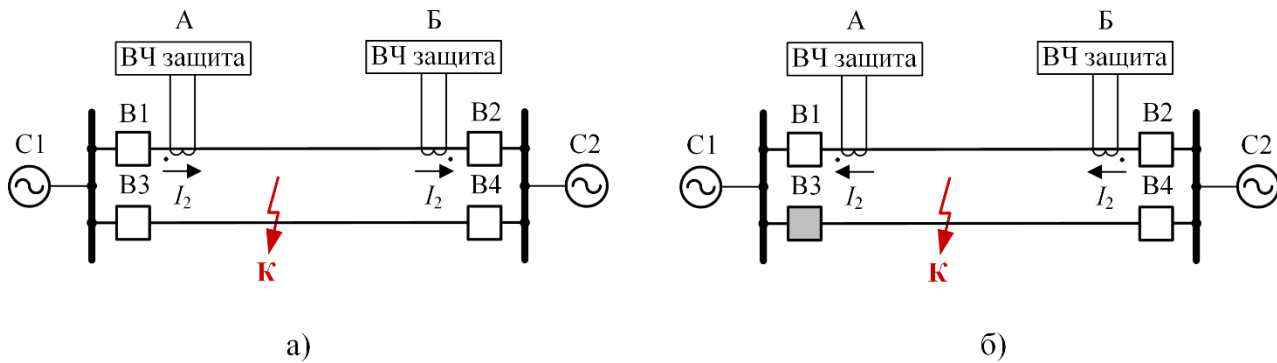


Рис. 2 – Реверс мощности при КЗ на параллельной линии (а) и отключение выключателя В3 (б)

При КЗ на параллельной линии в точке К (см. рисунок 2) направление тока через оба полукомплекта защиты в первый момент показано на рисунке 2 а, а после каскадного отключения выключателя В3 – направление тока показано на рисунке 2 б. На рассматриваемой ВЛ происходит реверс мощности.

Для исключения излишнего срабатывания защиты за счет неидентичного переходного процесса в ОМ обоих полукомплектов предусмотрен специальный логический узел, состоящий из элементов «Запрет» (9 и 12) (см. рисунок Б.1 - Узел ДФЗ), элемента времени ДТ (10) с задержкой на срабатывание на 0,04 с и элемента времени ДТ (11) с задержкой на возврат на 0,05 с.

При повреждении на параллельной ВЛ, которое является внешним для рассматриваемых полукомплектов А и Б ДФЗ, срабатывают ПО, разрешающие пуск ВЧ и манипуляцию, и ПО, подготавливающие цепи отключения (выход элемента ДТ (23), соединённый с входом «Пуск» ОСФ). Однако, выходной логический сигнал ОСФ будет соответствовать «0», так как повреждение внешнее и взаимный угол токов по концам ВЛ близок к 180°. Во время внешнего повреждения (есть сигнал пуска ОСФ, но его выходной сигнал равен «0») на входе элемента времени ДТ (10) присутствует логический сигнал «1». Если длительность внешнего повреждения более 0,04 с, то появится сигнал «1» на выходе элемента времени ДТ (11), который дополнительно запретит прохождение сигнала на отключение на элементе «Запрет» (12).

При отключении выключателя В3 параллельной ВЛ возможен реверс мощности по рассматриваемой ВЛ и ОСФ может кратковременно выдать логический сигнал «1». Ложного отключения при этом не произойдет, так как в течение выдержки времени на возврат 0,05 с элемента задержки ДТ (11) на запрещающем входе элемента «Запрет» (12) будет присутствовать логический сигнал «1».

5.1.4 Работа защиты на ВЛ с ответвлениями

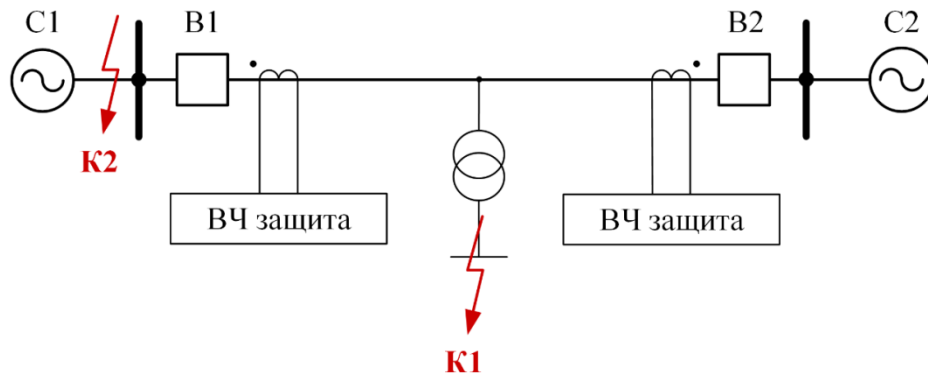


Рис. 3 – Работа ВЧЗ на ВЛ с ответвлениями

При отсутствии комплекта защиты на ответвлении имеются специальные ИО, обеспечивающие отстройку от внешних КЗ и от бросков тока намагничивания трансформатора на ответвлении при включении ВЛ. ИО включают в себя три направленных ИО сопротивления $Z_{отв AB}$, $Z_{отв BC}$, $Z_{отв CA}$ и ИО $M_0 разр$.

Отстройка от КЗ за трансформатором в точке К1 (см. рисунок 3) обеспечивается выбором уставки направленных ИО сопротивления. Отстройка от КЗ в точке К2 обеспечивается за счет несрабатывания направленных ИО сопротивления (характеристика проходит через начало координат) и ИО $M_0 разр$.

При работе ДФЗ на ВЛ с ответвлениями программная накладка ХВ1_ДФЗ - пункт меню [103401] ДФЗ / Логика работы / ХВ1_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями устанавливается в положение **предусмотрена**. В этом случае цепь подготовки цепи отключения контролируется ИО $Z_{отв AB}$, $Z_{отв BC}$, $Z_{отв CA}$ и ИО $M_0 разр$ на логическом элементе «И» (8) (см. рисунок Б.1 - Узел ДФЗ). Кроме того, размыкание накладки ХВ1_ДФЗ приводит к переключению мультиплексором М (18) выходов задержки сигнала разрешения на входе ОСФ, которая становится равной 0,02 с (выход элемента задержки ДТ (24)).

При повреждениях на защищаемой ВЛ при междуфазных КЗ будут срабатывать ИО $Z_{отв AB}$, $Z_{отв BC}$, $Z_{отв CA}$, а при однофазных КЗ – ИО $M_0 разр$.

ИО $M_0 разр$ включает в себя ПО тока РТНП, ПО напряжения РННП и собственно ИО направления, включенные по логической схеме «И». ПО РТНП по принципу действия отстроено от броска тока намагничивания нулевой последовательности, возникающего при одновременном включении фаз выключателя.

При работе ДФЗ на ВЛ с ответвлениями, программной накладкой ХВ2_ДФЗ - пункт меню [103402] ДФЗ / Логика работы / ХВ2_ДФЗ Блокировка режима с ответвлениями / при неисправности цепей U, предусмотрена возможность блокирования цепи подготовки

канала отключения ДФЗ на логическом элементе «И» (6), при появлении неисправности в цепях напряжения.

5.1.5 Работа защиты в сети с тяговой нагрузкой

Режим работы сети с тяговой нагрузкой характеризуется значительными, медленно изменяющимися небалансами по току обратной последовательности. Отстроиться от этих небалансов путем увеличения уставок не представляется возможным, так как при этом не обеспечивается необходимая чувствительность при повреждениях на ВЛ.

В защите предусмотрен режим работы в сети с тяговой нагрузкой, который устанавливается программной накладкой ХВ3_ДФЗ - пункт меню [103403] ДФЗ / Логика работы / ХВ3_ДФЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой / предусмотрена. В этом режиме принудительно запрещается работа ПО $I_{2\text{ бл}}$ и $I_{2\text{ от}}$, и, независимо от состояния программной накладки ХВ7_ДФЗ – ПО Ю, вводятся в работу ПО $3I_{0\text{ бл}}$ и $3I_{0\text{ от}}$. Пуск ВЧ и подготовка цепей отключения производится пусковыми ИО $DI_{\text{ бл}}$ и $DI_{\text{ от}}$, соответственно. Эти ИО контролируют скорость изменения во времени векторов токов обратной и прямой последовательностей, срабатывают при скачкообразном изменении тока КЗ и отстроены от изменения токов при тяговой нагрузке.

Поскольку выходной сигнал таких ИО импульсный, в защите предусмотрена фиксация сигнала отключения при междуфазных повреждениях на время 0,2 с с помощью ИО $Z_{\text{ от}}$ по цепи подхвата: логические элементы «И» (31) – «И» (32) – «ИЛИ» (22) (см. рисунок Б.1 - Узел ДФЗ). На втором входе элемента «И» (32) в течение времени 0,2 с обеспечивается сигнал «1» с выхода логического узла: элементы «ИЛИ» (33), ДТ (35) и «И» (34), который устанавливается по переднему фронту сигнала с выхода пускового ИО $DI_{\text{ от}}$.

Фиксация сигнала пуска ВЧ осуществляется на элементе задержки ДТ (57) на возврат на время 0,6 с.

При однофазных повреждениях пуск ВЧ и подготовка цепей отключения производится пусковыми ИО $3I_{0\text{ бл}}$ и $3I_{0\text{ от}}$, соответственно. В остальном действие защиты аналогично описанному в 5.1.2.3.

5.1.6 Пуск ВЧ при выводе защиты

Положение программной накладки ХВ4_ДФЗ в пункте меню [103404] ДФЗ / Логика работы / ХВ4_ДФЗ Пуск ВЧ при выводе защиты / не предусмотрен, предусмотрен определяет наличие длительного пуска ВЧ сигнала при выводе ВЧ защиты (или терминала) одного из полуккомплектов защиты для блокирования второго полуккомплекта защиты с целью исключения излишних отключений при повреждениях вне защищаемой ВЛ. Следует помнить, что в некоторых странах длительное излучение ВЧ сигналов запрещено.

5.1.7 Сигнализация пуска на отключение

Положение программной накладки ХВ5_ДФЗ в пункте меню **[103405] ДФЗ / Логика работы / ХВ5_ДФЗ Сигнализация пуска на отключение / не предусмотрена, предусмотрена** определяет отсутствие или наличие сигнализации при внешних повреждениях на ВЛ, сопровождающихся срабатыванием ПО, подготавливающих цепи отключения. Эта функция может быть полезна на первых этапах эксплуатации защиты.

5.1.8 Совместная работа с микропроцессорными защитами

В ДФЗ предусмотрен режим совместной работы с МП защитами сторонних производителей. Этот режим задается в пункте меню **[103451] ДФЗ / Совместная работа с другим типом ДФЗ / Совместная работа с другим МП ДФЗ / предусмотрена**.

В ДФЗ предусмотрен режим совместной работы с панелями типов ДФЗ-201(504), который задается в пункте меню терминала **[103452] ДФЗ / Совместная работа с другим типом ДФЗ / Совместная работа с ЭМ ДФЗ / предусмотрена**.

Для повышения устойчивости функционирования защит типа ДФЗ-201 и ДФЗ-504 при внешних повреждениях и коммутациях необходимо выполнить мероприятия в соответствии с циркуляром РАО «ЕЭС России» № Ц-04-94(Э) от 30 декабря 1994 г.

Мероприятия сводятся к замене типа выходного реле 2-6РП защиты на тип РП-23. В случае если увеличение времени действия ДФЗ недопустимо, необходимо применить в электромеханических ДФЗ специальную приставку типа БФВКЦ, с помощью которой замедление в выходные цепи вводится только после фиксации внешнего КЗ.

Режим совместной работы принудительно выводит из работы ПО $DI_{\text{бл}}$ и $DI_{\text{от}}$, поскольку в ДФЗ-201 и ДФЗ-504 таковых нет. Кроме того, выводятся из работы и ПО $3I_{0\text{бл}}$ и $3I_{0\text{от}}$.

Так как ПО тока ДФЗ-201 (ДФЗ-504) реагирует на сумму модулей токов нулевой и обратной последовательностей ($|I_2| + k|I_0|$), при совместной работе с защитой ШЭ2607 Х8Х, необходимо на панели ДФЗ-201 (ДФЗ-504) вывести из работы нулевую последовательность тока ($k|I_0|$), установив переключку в положение, при котором шунтируется трансформатор 1-ТН₀ (см. схему ДФЗ-201).

При совместной работе с панелью типа ДФЗ-201 необходимо установить в пункте меню **[103453] ДФЗ / Совместная работа с другим типом ДФЗ / Тип ЭМ ДФЗ / ДФЗ-201**.

Для более точного согласования взаимного положения ВЧ пакетов от электромеханического и микропроцессорного полуккомплектов ДФЗ, имеется возможность дополнительной коррекции фазового угла выходного сигнала комбинированного фильтра токов в меню терминала **[103455] ДФЗ / Совместная работа с другим типом ДФЗ / Доворот (I_1+kI_2) на угол (ДФЗ-201) на угол (5°, 0°, -5°, -10°, -15°)**.

При совместной работе с панелью типа ДФЗ-504 необходимо установить состояние в пункте меню **[103453] ДФЗ / Совместная работа с другим типом ДФЗ / Тип ЭМ ДФЗ / ДФЗ-504.**

При этом вводится дополнительный фазовый поворот выходного сигнала ОМ панели ДФЗ-504 относительно сигнала ОМ панели ДФЗ-201.

Для более точного согласования взаимного положения ВЧ пакетов от электромеханического и микропроцессорного полукомплектов ДФЗ, имеется возможность дополнительной коррекции фазового угла выходного сигнала комбинированного фильтра токов в меню **[103456] ДФЗ / Совместная работа с другим типом ДФЗ / Поворот (I1+K12) на угол (ДФЗ-504)** в пределах (-30 - 30), °.

Согласование разновременности срабатывания ПО микропроцессорного и электромеханического полукомплектов защиты выполняется автоматическим увеличением задержки сигнала отключения на входе ОСФ с 0,01 до 0,02 с [2].

5.2 Расчет и выбор параметров настройки (уставок) и алгоритмов функционирования функции «Дифференциально-фазная защита»

5.2.1 Выбор уставки токовых органов с пуском по вектору разности

5.2.1.1 Выбор уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на блокировку

Уставки выбираются одинаковыми для обоих (или в случае многоконцевой линии трех и более) комплектов, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же наибольший из максимальных рабочих токов $I_{\max \text{ раб}}$ по концам линии.

Уставка $I_{\text{л бл уст}}$ выбирается исходя из обеспечения пуска передатчика при внешних симметричных КЗ с большим током.

Наличие ПО $I_{\text{л бл}}$ обеспечивает пуск ВЧ передатчика на обоих концах ВЛ при внешних симметричных повреждениях, сопровождающихся протеканием больших токов. Благодаря этому обеспечивается правильная работа защиты даже в том случае, когда на одном из концов ВЛ под влиянием тока небаланса в симметричном режиме срабатывает ПО $I_{2\text{от}}$.

Уставка $I_{\text{л бл уст}}$ выбирается исходя от отстройки от максимального рабочего тока $I_{\max \text{ раб}}$. Если при выборе уставок других ПО, они не пройдут по чувствительности, то необходимо при выборе уставок всех ПО заменить $I_{\max \text{ раб}}$ на ток нагрузки $I_{\text{нагр}}$.

$$I_{\text{л бл уст}} = \sqrt{3} \cdot k_{\text{отс}} \cdot I_{\max \text{ раб}} (\text{или } I_{\text{нагр}}), \quad (1)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 1,3$;

$I_{\max \text{ раб}}$ – максимальный рабочий ток, выбирается наибольший из двух или более концов линии;

$I_{\text{нагр}}$ – ток нагрузки (длительно возможный рабочий ток, чтобы длительно не был запущен передатчик).

5.2.1.2 Выбор уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на отключение

Уставка $I_{\text{л от уст}}$ выбирается исходя из отстройки от $I_{\text{л бл уст}}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента ответвления.

$$I_{\text{л от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отв}} \cdot I_{\text{л бл уст}}, \quad (2)$$

где $k_{\text{отв}}$ – коэффициент ответвления.

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 1,3$;

$I_{\text{л бл уст}}$ – уставка блокирующего токового органа с пуском по векторной разности фазных токов;

А) Расчет коэффициента ответвления $k_{отв}$ на линиях с ответвлениями без источников питания.

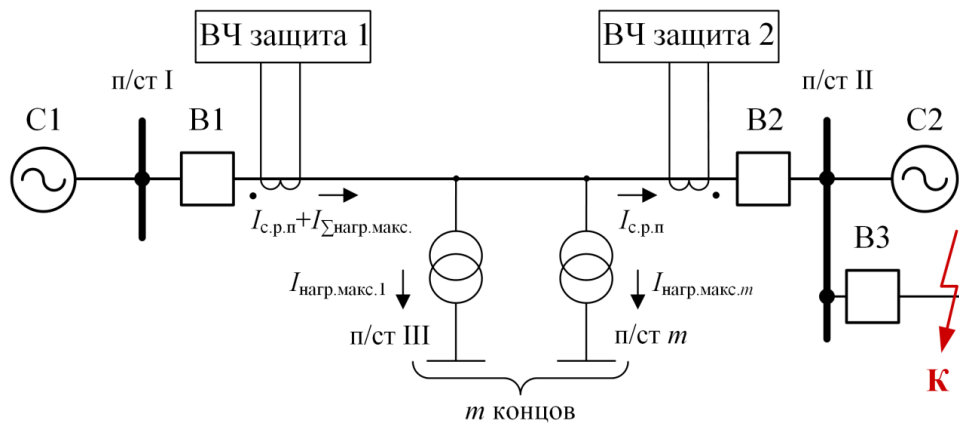


Рис. 4 – Схема линии с ответвлениями для определения $k_{отв}$

Так как рассматриваемая защита имеет направленные органы $Z_{отв}$, (всегда подключаются, при положении накладки ХВ1: **Работа с ответвлениями на ВЛ-предусмотрена**) обеспечивающие несрабатывание при направлении мощности к шинам, то необходимо учитывать коэффициент ответвления только для случая представленного на рисунке 4. В качестве расчетного для определения $k_{отв}$ необходимо рассматривать режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке К, рисунок 4). В этом случае, из-за незначительного падения напряжения на подстанциях ответвления, ток нагрузки ответвлений практически не изменится. В случае (худшем, с точки зрения селективности), если через место установки одного из полукомплектов на конце // протекает ток равный $I_{л бл уст}$, а на другом - $I_{л бл уст} + I_{\Sigma нагр. отв}$, коэффициент ответвления $k_{отв}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{отв} = \frac{I_{л бл уст} + I_{\Sigma нагр. отв}}{I_{л бл уст}} = 1 + \frac{I_{\Sigma нагр. отв}}{I_{л бл уст}}, \quad (3)$$

где $I_{\Sigma нагр. отв}$ – максимальный ток нагрузки в рассматриваемом режиме КЗ, в первом приближении может быть принят равным сумме максимальных рабочих токов без питания в нагрузочном режиме.

Во всех остальных случаях коэффициент ответвления принимается равным $k_{отв} = 1$.

Б) Расчет коэффициента ответвления $k_{отв}$ на многоконцевых линиях, с питанием более, чем с двух сторон.

Если при внешнем КЗ по отношению к рассматриваемой линии в одном из комплектов ток будет больше, чем токи в остальных комплектах, то наилучшим, с точки зрения селективности, является режим сети, когда остальные токи приблизительно равны $I_{л бл}$, то есть находятся на грани срабатывания. В этом случае может запуститься только передатчик комплекта с наибольшим током. И если ток КЗ окажется достаточным для срабатывания

$I_{л\ от}$, то произойдет излишнее срабатывание защиты. Поэтому с помощью коэффициента ответвления $k_{отв}$ необходимо загрузить уставку $I_{л\ от\ уст}$.

$$k_{отв} = \frac{I_{ф\ п-та\ max}}{I_{ф\ равн}}, \quad (4)$$

где $I_{ф\ п-та\ max}$ – фазный ток, в том полукомплекте, где он максимальный;

$I_{ф\ равн}$ – максимальный из фазных токов в режиме с наиболее близкими токами на остальных концах линии.

(Для общего случая ВЛ, имеющей несколько концов с питанием, предельное расчетное значение $k_{отв} = n - 1$, где n – число питающих концов линии).

5.2.2 Выбор уставки токовых органов с пуском по току обратной последовательности I_2

5.2.2.1 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I_2 , действующего на блокировку

Для обоих полукомплектов уставки выбираются одинаковыми, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же $I_{л\ бл\ уст}$. Уставка токового органа с пуском по току обратной последовательности $I_{2\ бл\ уст}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ, частотными небалансами фильтров обратной последовательности и погрешностями их настройки, а также небалансами нагрузочного режима сети.

Выводится из действия при тяговой нагрузке с помощью накладки ХВ2.

$$I_{2\ бл\ уст} = \frac{k_{отс} \cdot I_{2\ нб\ расч}}{k_{возв}}, \quad (5)$$

где $I_{2\ нб\ расч}$ – расчетный ток небаланса обратной последовательности рассчитывается по выражению (6);

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс} = 1,3$;

$k_{возв}$ – коэффициент возврата принимается равным $k_{возв} = 0,9$.

$$I_{2\ нб\ расч} = \frac{I_{л\ бл\ уст}}{\sqrt{3}} \cdot (\varepsilon + k_f \cdot Df + D\phi + k_2 \text{ несим}) = \left(\frac{I_{л\ бл\ уст}}{\sqrt{3}} \right) \cdot 0,062, \quad (6)$$

где $I_{л\ бл\ уст}$ – уставка блокирующего токового органа с пуском по разности фазных токов;

ε – полная погрешность ТТ принимается равной $\varepsilon_1 = 0,03$, согласно ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

k_f – коэффициент частотной зависимости ФТОП по данным разработчика принимается равным $k_f = 0,23$ [3];

Df – относительная погрешность отклонения частоты принимается равной $Df = 0,03$;

$D\phi$ – относительная погрешность настройки фильтра с учетом погрешности датчиков тока принимается равной $D\phi = 0,005$;

$k_{2 \text{ несим}}$ – коэффициент несимметрии тока обратной последовательности принимается равным $k_{2 \text{ несим}} = 0,02$, согласно ГОСТ 13109 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.

5.2.2.2 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I_2 , действующего на отключение

На линиях с ответвлениями не надо отстраивать $I_{2 \text{ от уст}}$ от КЗ за трансформатором ответвления, т.к. в защите есть специальный орган $Z_{\text{отв}}$, отстроенный от КЗ за трансформатором. Характеристика $Z_{\text{отв}}$ в комплексной плоскости сопротивлений проходит через начало координат, поэтому $I_{2 \text{ от уст}}$ не надо отстраивать от внешнего КЗ на питающей стороне при одностороннем питании и подпитке от двигателей нагрузки.

Выводится из действия при тяговой нагрузке.

Уставка $I_{2 \text{ от уст}}$ выбирается исходя из следующих критериев:

- отстройки от $I_{2 \text{ бл уст}}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента ответвления;

$$I_{2 \text{ от отстр уст}} = k_{\text{отв}} \cdot k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ бл уст}}, \quad (7)$$

где $k_{\text{отв}}$ – коэффициент ответвления;

$I_{2 \text{ бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 ;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 1,5 - 2$.

При таком выборе коэффициента отстройки $k_{\text{отс}} = 2$, $I_{2 \text{ от}}$ автоматически будет отстроен от тока небаланса обратной последовательности, возникающего в режиме внешнего трехфазного КЗ при токе, обеспечивающем срабатывание $I_{\text{л бл}}$ с обоих концов линии.

При токе, обеспечивающем надежное срабатывание $I_{\text{л бл}}$ с обоих концов, $I_{2 \text{ от}}$ работать не будет.

А) Расчет коэффициента ответвления $k_{\text{отв}}$ на линиях с ответвлениями без источников питания.

Так как рассматриваемая защита имеет направленные органы $Z_{\text{отв}}$, обеспечивающие несрабатывание при направлении мощности к шинам, то необходимо учитывать коэффициент ответвления только для случая представленного на рисунке 4. В качестве расчетного для определения $k_{\text{отв}}$ необходимо рассматривать режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке К, рисунок 4). В худшем случае (с точки зрения селективности) через место установки одного из полуккомплектов на конце // протекает ток равный $I_{2 \text{ бл уст}}$, а на другом – $I_{2 \text{ бл уст}} + I_{\Sigma \text{ нагр.отв.2}}$. Тогда $k_{\text{отв}}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{\text{отв}} = \frac{I_{2 \text{ бл уст}} + I_{\Sigma \text{ нагр.отв.2}}}{I_{2 \text{ бл уст}}} = 1 + \frac{I_{\Sigma \text{ нагр.отв.2}}}{I_{2 \text{ бл уст}}}, \quad (8)$$

где $I_{\Sigma \text{нагр.отв.2}}$ – максимальный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки в рассматриваемом режиме КЗ, в первом приближении может быть принят равным 2% от суммы максимальных рабочих токов концов без питания в нагрузочном режиме.

Во всех остальных случаях коэффициент ответвления принимается равным $k_{\text{отв}} = 1$.

Б) Расчет коэффициента ответвления $k_{\text{отв}}$ на многоконцевых линиях.

Если при внешнем КЗ по отношению к рассматриваемой линии в одном из комплектов ток будет больше, чем токи в остальных комплектах, то наихудшим, с точки зрения селективности, является режим сети, когда остальные токи приблизительно равны $I_{2 \text{ бл}}$, то есть находятся на грани срабатывания. В этом случае может запуститься только передатчик с наибольшим током. И если ток КЗ окажется достаточным для срабатывания $I_{2 \text{ от}}$, то произойдет излишнее срабатывание защиты. Поэтому с помощью коэффициента ответвления $k_{\text{отв}}$ необходимо загрузить уставку $I_{2 \text{ от уст}}$.

В общем случае коэффициент ответвления определяется для каждого полукомплекта - рассматривается как отношение тока обратной последовательности в этом полукомплекте к току обратной последовательности в другом полукомплекте, с которым производится согласование.

$$k_{\text{отв}} = \frac{I_{2 \text{ п-га max}}}{I_{2 \text{ равн}}}, \quad (9)$$

где $I_{2 \text{ п-га max}}$ – ток обратной последовательности, в том полукомплекте, где он максимальный;

$I_{2 \text{ равн}}$ - максимальный из токов обратной последовательности в режиме с наиболее близкими токами на остальных концах линии (берется максимальный ток, т.к. необходимо, чтобы в режиме внешнего КЗ запустились оба передатчика, тогда срабатывание отключающего органа не приведет к излишней работе защиты).

В) Если при рассмотрении согласования данного комплекта с другим окажется, что невозможен такой режим сети, когда ток в нем максимальный, то в этом случае коэффициент ответвления при расчете уставки необходимо принять равным $k_{\text{отв}} = 1$. Тогда уставка выбирается следующим образом:

$$I_{2 \text{ от отстр уст}} = k_{\text{отв}} \cdot k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ бл уст}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{отв}}$ – коэффициент ответвления принимается равным $k_{\text{отв}} = 1$;

$I_{2 \text{ бл уст}}$ – уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 ;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 2$.

Если при этом окажется что чувствительности на данном конце не обеспечивается, то необходимо посчитать реальный коэффициент ответвления. Но во всех случаях для одного и того же полукомплекта уставка $I_{2 \text{ от уст}}$ должна быть:

$$I_{2 \text{ от уст}} \geq 1,05 \cdot I_{2 \text{ бл уст}}$$

• отстройки от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение определяется по выражению

$$I_{2 \text{ от } \dot{E}_{\text{МК}} \text{ уст}} = k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{\dot{E}_{\text{МК}}}}{3}, \quad (11)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий необходимый запас на увеличение емкостного тока в переходном режиме, принимается равным $k_{\text{отс}} = 2$;

$I_{\dot{E}_{\text{МК}}}$ – емкостной ток линии.

Емкостной ток линии определяется по выражению

$$I_{\dot{E}_{\text{МК}}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \cdot b_1 \cdot L_{\text{Л}}, \quad (12)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение;

b_1 – удельная емкостная проводимость линии;

$I_{\dot{E}_{\text{МК}}}$ – емкостной ток линии;

$L_{\text{Л}}$ – длина линии.

Примечание – Удельная емкостная проводимость линии определяется по таблице А.1. Для кабельных линий значения удельной ёмкостной проводимости должно определяться по справочным данным, либо по информации от завода изготовителя.

Окончательно уставка $I_{2 \text{ от уст}}$ выбирается наибольшей из $I_{2 \text{ от отс уст}}$ и $I_{2 \text{ от } \dot{E}_{\text{МК}} \text{ уст}}$.

5.2.2.3 Определение коэффициента чувствительности для токового отключающего органа I_2

Рассчитывается коэффициент чувствительности для каждого полукомплекта.

Для двухконцевых линий и линии с ответвлениями без питания:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ min}}}{I_{2 \text{ от уст}}}, \quad (13)$$

где $I_{2 \text{ КЗ min}}$ – минимальный ток КЗ обратной последовательности;

$I_{2 \text{ от уст}}$ – уставка отключающего токового органа с пуском по I_2 ;

Если $k_{\text{ч}} > 2$, то необходимо загрузить уставку до $k_{\text{ч}} = 2$ для полукомплекта с наименьшим коэффициентом чувствительности.

Таким образом, получается новая уставка $I_{2 \text{ от уст}}$, одинаковая для двух концов линии.

По ней необходимо уточнить $I_{2 \text{ бл уст}} = 0,5 \cdot I_{2 \text{ от уст}}$.

Для многоконцевых линий для каждого комплекта определяется:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ min}}}{I_{2 \text{ от уст}}}.$$

Орган проходит по чувствительности, если $k_{\text{ч}} \geq 2$.

Для многоконцевых линий можно не загружать уставку $I_{2 \text{ от уст}}$.

5.2.3 Выбор уставки пусковых органов по току нулевой последовательности $3I_0$

5.2.3.1 Выбор уставки пускового органа по току нулевой последовательности $3I_{0\text{БЛ}}$, действующего на блокировку

Пусковые органы по току нулевой последовательности $3I_0$ ($I_{0\text{БЛ}}$ и $I_{0\text{от}}$) могут использоваться в случае:

а) если рассчитанная уставка ПО по току $I_{2\text{отуст}}$ при несимметричных повреждениях в зоне действия защиты получается меньше минимальной границы диапазона регулирования уставок ПО $I_{0\text{от}}$ на величину не более 25 % (в случае, если $1,5 \leq K_{\text{ч}} < 2$). При этом уставки ПО $I_{0\text{БЛ}}$ и ПО $I_{0\text{от}}$ необходимо установить в минимальные значения.

Указанное требование определяется необходимостью обеспечения надежной манипуляции при внутренних КЗ, порог которой определяется значением уставки $I_{0\text{БЛУСТ}}$. При подаче на вход ДФЗ симметричного тока обратной последовательности, по величине равного $I_{0\text{БЛУСТ}}$, недоформированность прямоугольного сигнала на выходе ОМ составляет 10 %. Необходимо проверить, что минимальное значение расчетного тока обратной последовательности при внутренних КЗ превышает ток уставки $I_{0\text{БЛУСТ}}$. При этом условии обеспечивается надежная манипуляция при действии на отключение ПО $I_{0\text{от}}$.

б) если установлен режим «Работа в сети с тяговой нагрузкой»¹.

В этом режиме, ПО по току I_2 автоматически выводятся из действия, а ПО по току $3I_0$ - вводятся. В сетях с тяговой нагрузкой имеет место большая статическая несимметрия по току обратной последовательности и малая несимметрия по току нулевой последовательности. Применение комбинации пусковых органов по приращению тока обратной последовательности DI_2 и ПО I_0 позволяет, в большинстве случаев отстроиться от непрерывных пусков ВЧ блокирующих сигналов и получить требуемую чувствительность и длительный сигнал при действии на отключение.

Уставки ПО по току нулевой последовательности $3I_0$ ($I_{0\text{БЛ}}$ и $I_{0\text{от}}$) в первичных величинах должны выбираться одинаковыми для обоих полуккомплектов ДФЗ.

Минимальный предел значения уставки ПО по току $3I_0$ ($I_{0\text{БЛ}}$) рассчитывается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ и небалансами нагрузочного режима сети. Сами уставки $I_{0\text{БЛУСТ}}$ рассчитывается исходя из требования обеспечения необходимого коэффициента чувствительности в режиме, когда не обеспечивается чувствительность ПО по току обратной последовательности для замыкания с минимально возможным током обратной последовательности. Проверяется в этом же режиме работы энергосистемы значение тока нулевой последовательности $3I_0$.

¹ Данный режим устанавливается соответствующей программной накладкой ХВЗ_ДФЗ. В старых версиях устройств возможно иное название данной программной накладки.

Уставка ПО по току нулевой последовательности $3I_{0\text{БЛУСТ}}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ, а также небалансами нагрузочного режима сети:

$$3I_{0\text{БЛУСТ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot 3I_{0\text{НБ РАСЧ}}/K_{\text{В}}, \quad (14)$$

где $3I_{0\text{НБ РАСЧ}}$ - расчетный ток небаланса НП рассчитывается по выражению (15);

$K_{\text{ОТС}}$ - коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$K_{\text{В}}$ - коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

$$3I_{0\text{НБ РАСЧ}} = I_{\text{РАБ МАКС}} \cdot (\varepsilon + K_{0\text{НЕСИМ}}), \quad (15)$$

где $I_{\text{РАБ МАКС}}$ - максимальный рабочий ток, выбирается наибольший из двух или более токов, протекающих через комплекты защит по концам линии;

ε - полная погрешность ТТ (принимается равной $\varepsilon = 0,01$ для класса 5Р и $\varepsilon = 0,03$ для класса 10Р, согласно ГОСТ 7746-2001);

$K_{0\text{НЕСИМ}}$ - коэффициент несимметрии тока нулевой последовательности, принимается равным 0,02 согласно ГОСТ 13109-97.

Примечание – Относительное значение тока нулевой последовательности $K_{0\text{НЕСИМ}}$ обусловленного несимметрией в системе. При отсутствии несимметрии принимается $K_{0\text{НЕСИМ}} = 0$.

5.2.3.2 Выбор уставки пускового органа по току нулевой последовательности $3I_{0\text{ОТ}}$, действующего на отключение

Для обеспечения селективности при внешних несимметричных коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность ПО $3I_{0\text{БЛ}}$, действующего на пуск ВЧ сигнала, была выше ПО $3I_{0\text{ОТ}}$, действующего на отключение.

Уставка $3I_{0\text{ОТУСТ}}$ выбирается исходя из нескольких критериев:

- отстройка от $3I_{0\text{ОТУСТ}}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект,

- отстройка от составляющей нулевой последовательности ёмкостного тока линии.

В устройстве предусмотрена блокировка от бросков тока намагничивания трансформатора (БТНТ). В связи с этим не требуется отстраивать уставку $3I_{0\text{ОТУСТ}}$ от режима БТНТ.

5.2.3.3 Отстройка от $3I_{0\text{БЛУСТ}}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект

$$3I_{0\text{ОТУСТ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot 3I_{0\text{БЛУСТ}}, \quad (16)$$

где $3I_{0\text{БЛУСТ}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по $3I_0$;

$K_{\text{ОТС}}$ - коэффициент отстройки, принимается равным от 1,5 до 2.

5.2.3.4 Отстройка от составляющей нулевой последовательности емкостного тока линии

Отстройка от составляющей нулевой последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение определяется по выражению

$$3I_{0 \text{ ОТ } \dot{E}_{\text{МК}} \text{ УСТ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\dot{E}_{\text{МК}}}, \quad (17)$$

где $K_{\text{ОТС}}$ - коэффициент отстройки, учитывающий необходимый запас на увеличение емкостного тока в переходном режиме, принимается равным 2;

$I_{\dot{E}_{\text{МК}}}$ - емкостной ток линии.

Емкостный ток линии определяется по выражению

$$I_{\dot{E}_{\text{МК}}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \cdot b_1 \cdot L_{\text{Л}}, \quad (18)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение;

b_1 - удельная емкостная проводимость линии;

$I_{\dot{E}_{\text{МК}}}$ - емкостной ток линии;

$L_{\text{Л}}$ - длина линии.

Примечание – Удельная емкостная проводимость линии определяется по таблице А.1. Для кабельных линий значения удельной ёмкостной проводимости должно определяться по справочным данным, либо по информации от завода изготовителя.

5.2.3.5 Определение коэффициента чувствительности токового отключающего органа $3I_{0 \text{ ОТ}}$

Проверка чувствительности ПО $I_{0 \text{ ОТ}}$ действующих на отключение, производится для каждого полукомплекта при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полукомплекта конце линии.

Для двухконцевых линий и линии с ответвлениями без питания со стороны ответвлений:

$$K_{\text{Ч}} = 3I_{0 \text{ КЗ МИН}} / 3I_{0 \text{ ОТ УСТ}}, \quad (19)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ МИН}}$ - минимальный ток КЗ нулевой последовательности;

$3I_{0 \text{ ОТ УСТ}}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по $3I_0$;

Минимальное требуемое значение коэффициента чувствительности $K_{\text{Ч}} = 2$.

Примечание - В случае корректировки уставки $3I_{0 \text{ ОТ УСТ}}$ согласно минимального требуемого значения коэффициента чувствительности, следует соответственно скорректировать уставку $3I_{0 \text{ БЛУСТ}}$.

В случае если ПО по $3I_0$ не проходят по чувствительности, то необходимо применение ТТ с другим коэффициентом трансформации $K_{\text{ТТ}}$. Либо использовать повышающие АТТ. Первый вариант является более предпочтительным, т.к. внесение в систему дополнительных узлов всегда сказывается на надежности всей системы.

В случае если вышесказанное невозможно (например для тупиковой линии), то необходимо рассмотреть вариант применения защиты на другом принципе, например ДЗЛ, которая лишена указанных недостатков.

5.2.3.6 Дополнительные замечания по выбору уставок ПО с пуском по току нулевой последовательности

В большинстве случаев уставки по току нулевой последовательности по возможности необходимо выбирать самыми грубыми, так как наличие пуска блокировки по $3I_0$ может привести к отказу защиты (см. рисунок 5). Рассмотрим пример:

- питание с одной стороны, на другой стороне силовой трансформатор с заземленной нейтралью;
- внутреннее КЗ с землей при отсутствии нагрузки.

В этом случае при наличии пуска по $3I_0$ передатчик другого конца линии будет запущен, а токов I_2 – не будет, т.е. манипуляции передатчиком может не быть, что приведет к отказу защиты питающего конца. Поэтому пуск ВЧ по $3I_0$ нежелателен.

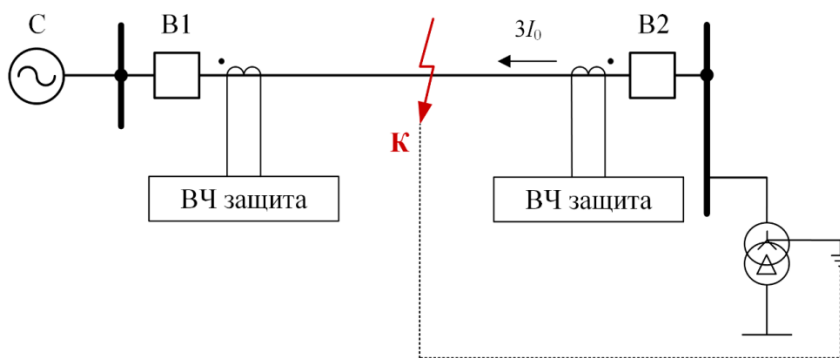


Рис. 5 – Случай отсутствия манипуляции со второго конца линии при пуске передатчика от $3I_0$

5.2.4 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности M_0

5.2.4.1 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности по току

M_0 используется только для линий с ответвлениями без питания и выбирается одинаковым для обоих концов линии. Уставка по току нулевой последовательности $3I_{0_M0\ уст}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса нулевой последовательности, определяемого погрешностью трансформаторов тока $I_{0\ нб\ ТТ}$ в максимальном рабочем режиме, от тока небаланса нулевой последовательности, вызванного несимметрией в первичной сети $3I_{0\ нб\ несим}$. От броска НТ отстраивать не надо, т.к. алгоритм реле мощности обеспечивает отстройку от броска тока намагничивания.

$$3I_{0_M0\ уст} = \frac{k_{отс} \cdot (I_{0\ нб\ ТТ} + 3I_{0\ нб\ несим})}{k_{возв}}, \quad (20)$$

где $I_{0 \text{ нб ТТ}} = k_{\text{однотипности}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{нагр}}$;

$3I_{0 \text{ нб несим}} = 0,02 \cdot I_{\text{нагр}}$;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 2$;

ε - полная погрешность ТТ принимается равной $\varepsilon = 0,03 - 0,1$. Полная погрешность ТТ ε учитывает небаланс по нулевой последовательности при КЗ за трансформатором ответвления. ε принимается равной 0,03 - 0,1 в зависимости от кратности максимального тока при КЗ за трансформатором ответвления;

$k_{\text{однотипности}}$ - коэффициент однотипности принимается равным $k_{\text{однотипности}} = 0,5$, если ТТ по концам линии одинаковые, иначе $k_{\text{однотипности}} = 1$. Но в данном случае $k_{\text{однотипности}}$ учитывать не надо, т.е. он равен 1, так как реле мощности $M0$ предназначено для отстройки от КЗ «за спиной защиты» и, т.о. отсутствует функциональная связь между реле, установленными по концам линии;

$I_{\text{нагр}}$ – ток нагрузки;

$k_{\text{возв}}$ - коэффициент возврата принимается равным $k_{\text{возв}} = 0,9$.

5.2.4.2 Определение коэффициента чувствительности органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по току

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ min}}}{3I_{0_M0 \text{ уст}}}, \quad (21)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ min}}$ - наименьший для двух полуккомплектов минимальный ток КЗ нулевой последовательности;

$3I_{0_M0 \text{ уст}}$ - ток срабатывания $3I_{0}$ органа направления мощности нулевой последовательности M_0 .

Орган проходит по чувствительности, если $k_{\text{ч}} > 2$.

Если $k_{\text{ч}}$ получается больше 3, то он закругляется до 3.

5.2.4.3 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по напряжению

Уставка по напряжению нулевой последовательности $3U_{0_M0}$ выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса.

$$3U_{0_M0} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{нб}} \cdot U_{\text{ном}}}{k_{\text{возв}}}, \quad (22)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 2$;

$k_{\text{нб}}$ – коэффициент небаланса принимается равным $k_{\text{нб}} = 0,009$;

$k_{\text{возв}}$ – коэффициент возврата принимается равным $k_{\text{возв}} = 0,9$;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение ВЛ.

Таким образом:

$$3U_{0_M0} = 0,02 \cdot U_{\text{ном}}.$$

5.2.4.4 Определение коэффициента чувствительности органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по напряжению

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0\text{ КЗ min}}}{3U_{0\text{ }M_0\text{ уст}}}, \quad (23)$$

где $3U_{0\text{ КЗ min}}$ - минимальное напряжение КЗ нулевой последовательности;

$3U_{0\text{ }M_0\text{ уст}}$ - напряжение срабатывания $3U_0$ органа направления мощности нулевой последовательности M_0 .

Орган проходит по чувствительности, если $k_{\text{ч}} > 2$.

Если $k_{\text{ч}}$ получается больше 3, то он загрубляется до 3.

5.2.5 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2

5.2.5.1 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2 , действующего на блокировку

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока

$$DI_2 = I_{2T(n+1)} - I_{2T(n)}, \text{ где } n - \text{ № периода промышленной частоты. [3].}$$

Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ. Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса обратной последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра.

$$DI_{2\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{2\text{бл уст}}, \quad (24)$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 0,7$;

$I_{2\text{бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 .

5.2.5.2 Уставка токового органа с пуском по току по приращению DI_2 , действующего на отключение

Уставка $DI_{2\text{от уст}}$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению $DI_2 - DI_{2\text{бл}}$.

$$DI_{2\text{от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{2\text{бл уст}} \quad (25)$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 2$;

$DI_{2\text{бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по DI_2 .

Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ не проверяется.

5.2.6 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1

5.2.6.1 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1 , действующего на блокировку

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока

$$DI_1 = I_{1T(n+1)} - I_{1T(n)}, \text{ где } n - \text{ № периода промышленной частоты. [3].}$$

Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса прямой последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра. По данным разработчика необходимо выбирать $DI_{1\text{бл уст}}$ в 4 раза больше, чем $DI_{2\text{бл уст}}$.

$$DI_{1\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{2\text{бл уст}}, \quad (26)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 4$;

$DI_{2\text{бл уст}}$ – уставка блокирующего токового органа с пуском по DI_2 .

5.2.6.2 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1 , действующего на отключение

По данным разработчика необходимо выбирать $DI_{1\text{от уст}}$ в 4 раза больше, чем $DI_{2\text{от уст}}$.

$$DI_{1\text{от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{2\text{от уст}} \quad (27)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 4$;

$DI_{2\text{от уст}}$ – уставка отключающего токового органа с пуском по DI_2 .

Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ не проверяется.

5.2.7 Орган манипуляции. Коэффициент комбинированного фильтра токов

Коэффициент комбинированного фильтра токов K определяется исходя из расчета необходимой чувствительности при несимметричных КЗ в минимальном, с точки зрения токов КЗ, режиме работы линии с обеспечением предпочтительного сравнения векторов токов kI_2 с учетом тока нагрузки. Чем больше K , тем меньше влияние токов нагрузки в режиме, предшествующем КЗ. Однако, следует учитывать, что при больших значениях этого коэффициента возрастает влияние тока небаланса ТТ при внешних симметричных КЗ на правильность измерения фазы первичного тока.

5.2.7.1 Расчет без учета нагрузки

Если расчет в АРМ производился без учета тока нагрузки, то K рассчитывается по формуле:

$$K = 1,5 \cdot \max \left(\left(\frac{I_1^{(1,1)} + I_{\text{нагр}}}{I_2^{(1,1)}} \right) \text{ или } \left(\frac{I_{\text{нагр}}}{I_2^{(1)}} \right) \right), \quad (28)$$

где $I_1^{(1,1)}$ – ток прямой последовательности двухфазного КЗ на землю;

$I_2^{(1,1)}$ – ток обратной последовательности двухфазного КЗ на землю;

$I_2^{(1)}$ – ток обратной последовательности однофазного КЗ;

$I_{\text{нагр}}$ – ток нагрузки.

Если коэффициент K получился больше 10, то надо произвести расчет с учетом токов нагрузки, как указано в п. 5.2.7.2

5.2.7.2 Расчет с учетом нагрузки

Если расчет токов КЗ в АРМ производился с учетом тока нагрузки, то для каждого полуккомплекта рассчитывается коэффициент K :

$$K = 1,5 \cdot \max \left(\left(\frac{I_1^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}} \right) \text{ или } \left(\frac{I_1^{(1)}}{I_2^{(1)}} \right) \right), \quad (29)$$

где $I_1^{(1,1)}$ – ток прямой последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$I_2^{(1,1)}$ – ток обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$I_1^{(1)}$ – ток прямой последовательности при однофазном КЗ;

$I_2^{(1)}$ – ток обратной последовательности при однофазном КЗ.

5.2.7.3 Критерий выбора значения

Если K получился меньше или равным 6, то K приравнивают к 6.

Если K получился больше 6, но меньше или равным 8, то K приравнивают к 8.

Если K получился больше 8, но меньше или равным 10, то K приравнивают к 10.

Окончательно коэффициент комбинированного фильтра токов K выбирается наибольшим из рассчитанных для двух или более комплектов и обязательно одинаковыми для всех концов ВЛ.

5.2.7.4 Определение коэффициента чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ

Так как пуск органа манипуляции происходит при токе, равном $I_{2\text{бл уст}}$, то коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ необходимо рассчитывать по формуле:

$$K_{\text{ч ман несим}} = \frac{\left[\min \left(\left| I_2^{(1,1)} - \frac{I_1^{(1,1)}}{K} \right| \right) \text{ или } \left(\left| I_2^{(1)} - \frac{I_{\text{max раб}}}{K} \right| \right) \right]}{I_{2\text{бл уст}}}, \quad (30)$$

где K – коэффициент комбинированного фильтра токов;

$I_1^{(1,1)}$ – ток прямой последовательности двухфазного КЗ на землю;

$I_2^{(1,1)}$ – ток обратной последовательности двухфазного КЗ на землю;

$I_1^{(1)}$ – ток прямой последовательности однофазного КЗ;

$I_2^{(1)}$ – ток обратной последовательности однофазного КЗ;

$I_{\text{max раб}}$ – максимальный рабочий ток;

$I_{2\text{бл уст}}$ – уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 .

Знаки минус означают, что соответствующие векторы в худшем случае находятся в противофазе.

Коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ $K_{ч\ ман\ несим}$ должен быть больше 1,3.

5.2.7.5 Определение коэффициента чувствительности манипуляции при симметричных КЗ

По данным разработчика разрешение на манипуляцию происходит при токе, равном $I_{2бл\ уст}$, поэтому коэффициент чувствительности необходимо определять так:

$$K_{ч\ ман\ сим} = \frac{\min(I_1^{(3)})}{K \cdot I_{2бл\ уст}}, \quad (31)$$

где $I_1^{(3)}$ – ток прямой последовательности трехфазного КЗ;

K – коэффициент комбинированного фильтра токов;

$I_{2бл\ уст}$ – уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 .

Коэффициент чувствительности манипуляции при симметричных КЗ $K_{ч\ ман\ сим}$ должен быть больше 1,3.

5.2.8 Орган сравнения фаз. Выбор уставки по углу блокировки

Уставка $\Phi_{бл}$ определяется исходя из условия селективной работы при внешнем КЗ с максимальным углом между векторами напряжений на выходе органов манипуляции по концам линии. Этот угол в основном зависит от погрешностей ТТ, в особенности, если они разнотипны по концам линии, от длины линии, а так же, если на линии будут устанавливаться разнотипные защиты: микропроцессорная и электромеханическая (таблица 1).

Таблица 1

Длина линии	Угол блокировки защиты $\Phi_{бл}$
Больше или равна 150 км	65°
От 60 км до 150 км	60°
Меньше 60 км	50°

Если устанавливаются разнотипные защиты по концам линии, то угол блокировки защиты принимается равным $\Phi_{бл} = 65^\circ$.

5.2.9 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{откл}$

5.2.9.1 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{откл}$ по активной составляющей $R_{откл}$

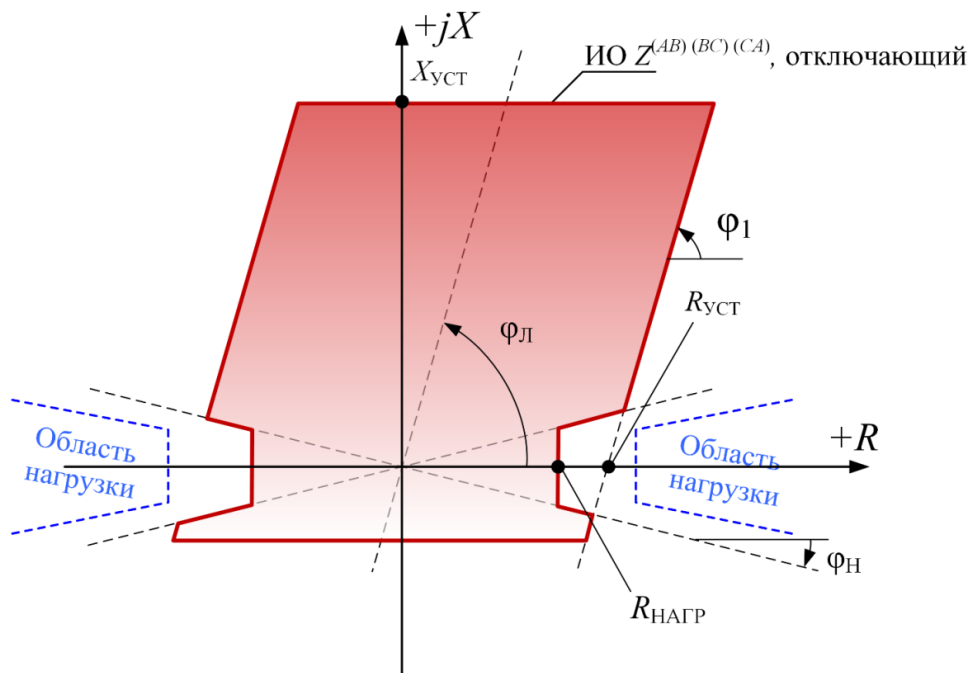


Рис. 6 – Характеристика срабатывания ИО Z , отключающий (ДФЗ)

Уставка по активной составляющей (см. рисунок 6) $R_{откл}$ определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии.

$$R_{откл\ уст} = \left(\frac{R_{раб\ мин} - X_{раб\ мин}}{\tan(\Phi_{мч})} \right) / k_n, \quad (32)$$

где $R_{раб\ мин}$ – минимальное активное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (33);

$X_{раб\ мин}$ – минимальное реактивное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (34);

$\Phi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности;

k_n – коэффициент надежности принимается равным $k_n = 1,6$;

$$R_{раб\ мин} = \frac{0,9 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{маx\ раб} \cdot \cos(\Phi_n)}, \quad (33)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение ВЛ;

$I_{маx\ раб}$ – максимальный рабочий ток;

Φ_n – угол нагрузки.

$$X_{раб\ мин} = \frac{0,9 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{маx\ раб} \cdot \sin(\Phi_n)}, \quad (34)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение ВЛ;

$I_{маx\ раб}$ – максимальный рабочий ток;

Φ_n – угол нагрузки.

Проверка чувствительности при КЗ через переходное сопротивление $R_{пер}$.

Необходимо сравнить замер активного сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвления и активное сопротивление линии и выбрать наибольшее:

$$R_{чувст} = 1,5 \cdot \left(\max(R_{\max \text{ отв}} \text{ или } R_{1 \text{ уд}} \cdot L) + R_{\text{дуги}} \cdot \left(1 + \frac{I_1^{(3)} \text{ II}}{I_1^{(3)} \text{ I}} \right) \right), \quad (35)$$

где $R_{\max \text{ отв}}$ – максимальная величина сопротивления при КЗ на шинах подстанции ответвлений рассчитывается по выражению (36);

$R_{1 \text{ уд}}$ – активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L – длина ВЛ;

$R_{\text{д}}$ – активное сопротивление дуги;

$I_1^{(3)} \text{ I}$ – максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 1;

$I_1^{(3)} \text{ II}$ – максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 2;

$$R_{\max \text{ отв}} = \cos(\Phi_{\text{мч}}) \cdot \max \left(\frac{U_{A \text{ ост отв}}}{I_1^{(3)} \text{ отв}} \right), \quad (36)$$

где $\Phi_{\text{мч}}$ – угол максимальной чувствительности;

$U_{A \text{ ост отв}}$ – остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;

$I_1^{(3)} \text{ отв}$ – ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.

$R_{\text{чувст}}$ должно быть меньше или равно $0,7 \cdot R_{\text{откл уст}}$:

$$R_{\text{чувст}} \leq 0,7 \cdot R_{\text{откл уст}}. \quad (37)$$

Если равенство (37) не выполняется, то защита не проходит по чувствительности.

5.2.9.2 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ по реактивной составляющей

$X_{\text{откл}}$

Уставка по реактивной составляющей сопротивления (см. рисунок 6) $X_{\text{откл уст}}$ определяется исходя из двух критериев:

- обеспечение чувствительности при КЗ на шинах ПС ответвления - $X_{\text{откл отв уст}}$;

$$X_{\text{откл отв уст}} = 1,5 \cdot \sin(\Phi_{\text{мч}}) \cdot \max \left(\frac{U_{A \text{ ост отв}}}{I_1^{(3)} \text{ отв}} \right), \quad (38)$$

где $\Phi_{\text{мч}}$ – угол максимальной чувствительности;

$U_{A \text{ ост отв}}$ – остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;

$I_1^{(3)} \text{ отв}$ – ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.

- надежный охват всей длины линии - $X_{\text{откл L уст}}$.

Если длина линии $L \geq 150$ км, то

$$X_{\text{откл L уст}} = 1,5 \cdot X_{1 \text{ уд}} \cdot L, \quad (39)$$

где $X_{1 \text{ уд}}$ – реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L – длина ВЛ.

Если длина линии $L < 150$ км, то

$$X_{\text{откл } L \text{ уст}} = 2 \cdot X_{1\text{уд}} \cdot L. \quad (40)$$

Окончательно $X_{\text{откл } L \text{ уст}}$ выбирается максимальной из $X_{\text{откл } L \text{ уст}}$ и $X_{\text{откл отв уст}}$.

Окончательный выбор уставок по R и X производится после проверки чувствительности с учетом $R_{\text{дуги}}$ по программе АРМ (влияние дуги будет точнее): т.е. рассчитываются максимальные значения $R_{\text{чувств}}$ и $X_{\text{чувств}}$ при КЗ в конце линии и на подстанциях ответвлений, при этом должно выполняться неравенство:

$$R_{\text{чувств}} \leq 0,8 \cdot \left(\frac{R_{\text{откл уст}} + X_{\text{чувств}}}{\tan(\Phi_{\text{мч}})} \right) \text{ и } X_{\text{чувств}} \leq 0,8 \cdot X_{\text{откл уст}}. \quad (41)$$

5.2.9.3 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ по углу максимальной чувствительности

Угол максимальной чувствительности (см. рисунок 6) вычисляется алгоритмом защиты, исходя из заданных удельных параметров линии. Ниже приводятся формулы для его расчета:

Угол наклона характеристики ИО $Z_{\text{откл}}$ к оси R :

$$\Phi_R = \arctg \left(\frac{X_{1\text{уд}}}{R_{1\text{уд}}} \right), \quad (42)$$

где $X_{1\text{уд}}$ – реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

$R_{1\text{уд}}$ – активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности.

Угол наклона характеристики ИО $Z_{\text{откл}}$ к оси X :

$$\Phi_X = 90^\circ - \Phi_R. \quad (43)$$

5.2.10 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$

5.2.10.1 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$ по активной составляющей $R_{отв}$

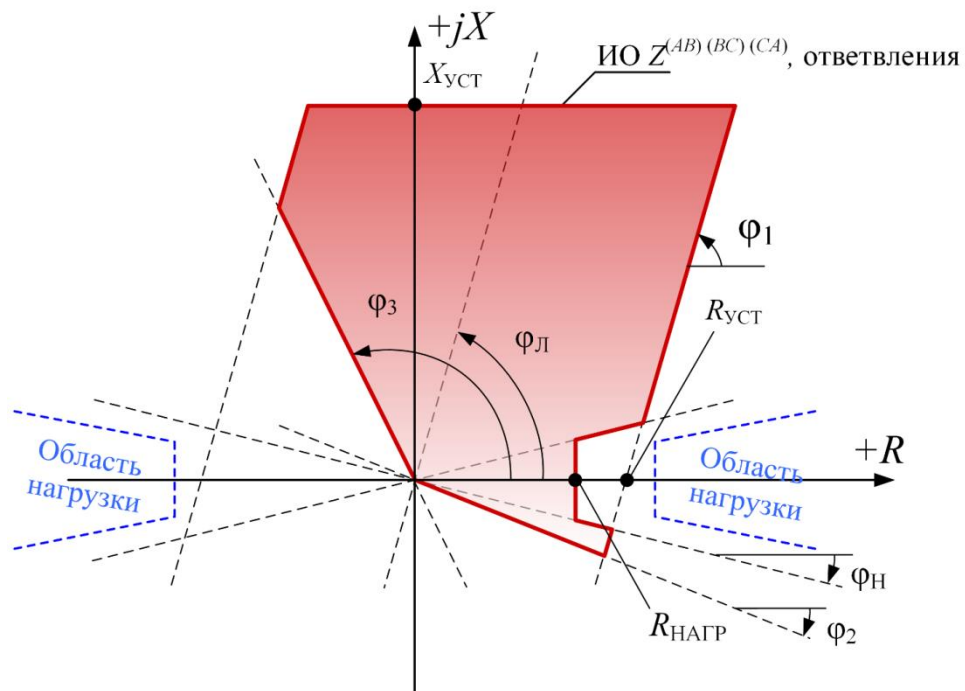


Рис. 7 – Характеристика срабатывания ИО Z ответвления

Уставка реле сопротивления $Z_{отв}$ по активной составляющей $R_{отв}$ определяется исходя из тех же критериев, что и уставка реле сопротивления $R_{откл}$ и приравнивается уставке $R_{откл}$.

$$R_{отв\ уст} = R_{откл\ уст} \quad (44)$$

5.2.10.2 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$ по реактивной составляющей $X_{отв}$

Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $X_{отв}$ определяется исходя из следующих критериев:

- отстройка от КЗ за трансформаторами ответвления - $X_{отв\ КЗ\ уст}$;

$$X_{отв\ КЗ\ уст} = k_n \cdot \min(X_{отстр\ отв1}, X_{отстр\ отв2} \dots X_{отстр\ отвN}), \quad (45)$$

где $X_{отстр\ отв1 \dots N}$ – сопротивление в месте установки защиты при КЗ за трансформатором ответвления рассчитывается по выражению (46);

k_n – коэффициент надежности равен $k_n := 0,85$.

$$X_{отстр\ отвX} = X_{отвX-п/ст} + \frac{(X_{отвX-тр-р} + X_{тр\ отв}^{(1)})}{K_T}, \quad (46)$$

где $X_{отвX-п/ст}$ – сопротивление ВЛ от ответвления X до ПС, где установлена защита;

$X_{отвX-тр-р}$ – сопротивление ВЛ от ответвления X до трансформатора ответвления;

$X_{тр\ отв}^{(1)}$ – реактивное сопротивление трансформатора ответвления;

K_T – коэффициент токораспределения принимается равным $K_T = 1$, так как второй конец линии отключен.

При определении минимального сопротивления необходимо учитывать возможность параллельной работы трансформаторов на ответвлении.

- отстройка от броска намагничивающего тока - $X_{тр \text{ БНТ уст}}$.

Второй конец линии отключен. Все трансформаторы на ответвлении принимаются работающими параллельно.

$$X_{тр \text{ БНТ уст}} = C_b \cdot (X_{тр экв}^{(1)} + X_c) - X_c, \quad (47)$$

где C_b – коэффициент принимается равным: для ВЛ $U_{ном} = 110$ кВ $C_b = 1,75$; для $U_{ном} = 220$ кВ $C_b = 1,55$;

$X_{тр экв}^{(1)}$ – эквивалентное сопротивление при однофазном включении линии;

X_c – сопротивление системы рассчитывается по выражению (48).

$$X_c = \frac{U_{ном} - (X_{1уд} \cdot L) \cdot I^{(3)}}{I^{(3)}}, \quad (48)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение ВЛ [кВ];

$X_{1уд}$ – реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L – длина линии;

$I^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ [кА].

Для расчета отстройки реле сопротивления от броска тока намагничивания необходимо использовать двухфазное включение. Но все трансформаторы учитываются сопротивлениями $X_{тр отв}^{(1)}$, так как ток двухфазного включения наиболее просто выразить через значение броска намагничивающего тока при однофазном включении при заземлении всех нейтралей.

Для одного ответвления, при наличии на нем одного трансформатора, формула принимает вид:

$$X_{тр экв}^{(1)} = (X_{тр отв}^{(1)} + X_{1уд} \cdot L_{отв-тр}) + X_{1уд} \cdot L_{отв1-пст1}, \quad (49)$$

где $X_{тр отв}^{(1)}$ – сопротивление трансформатора ответвления при КЗ⁽¹⁾ рассчитывается по формуле (50);

$X_{1уд}$ – реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

$L_{отв-тр}$ – длина ВЛ от ответвления до трансформатора;

$L_{отв1-пст1}$ – длина ВЛ от первого ответвления до ПС.

$$X_{тр отв}^{(1)} = \frac{X_{тр \%}^{(1)} \cdot (U_{ном тр отв} - U_{РПН тр отв})^2}{100 \cdot S_{ном тр отв}}, \quad (50)$$

где $X_{тр \%}^{(1)}$ – сопротивление трансформатора в % при однофазном включении рассчитывается по формуле (51);

$U_{ном тр отв}$ – номинальное напряжение трансформатора ответвления [кВ];

$U_{РПН тр отв}$ – диапазон РПН трансформатора ответвления [кВ];

$S_{НОМ тр отв}$ – номинальная мощность трансформатора ответвления.

$$X_{тр \%}^{(1)} = \frac{A + U_{КЗ тр отв}}{B}, \quad (51)$$

где $U_{КЗ тр отв}$ – напряжение КЗ трансформатора ответвления;

A – коэффициент принимается равным по таблицам 2 и 3;

B – коэффициент принимается равным по таблицам 2 и 3.

Таблица 2 – Коэффициенты A и B для трансформатора

Мощность трансформатора	A	B
До 60 МВА (включительно)	12,7	1,35
Выше 60 МВА	21,4	1,35

Таблица 3 – Коэффициенты A и B для автотрансформатора

Мощность автотрансформатора	A	B
До 125 МВА (включительно)	25,7	1,3
Выше 125 МВА	35	1,28

При наличии нескольких трансформаторов на ответвлении, а также при наличии нескольких ответвлений на линии расчет $X_{тр экв}^{(1)}$ значительно усложняется.

Схема «сворачивается» относительно места установки защиты и рассчитывается $X_{тр экв}^{(1)}$.

Затем выбирается наименьшая уставка из $X_{отв КЗ уст}$ и $X_{тр БНТ уст}$:

$$X_{отв уст} = \min(X_{отв КЗ уст} \text{ и } X_{тр БНТ уст}). \quad (52)$$

Проверка чувствительности

Чувствительность проверяется по выражению (53) - обеспечение чувствительности при КЗ на шинах ПС ответвления и надежного охвата всей длины линии:

$$X_{отв уст} \geq X_{откл уст}, \quad (53)$$

где $X_{откл уст}$ – уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $X_{откл}$.

Если защита не проходит по чувствительности и при этом определяющим является $X_{отв КЗ уст}$, то на тех ответвлениях, при КЗ за которыми защита не проходит по чувствительности, устанавливается неполный комплект защиты и производится новый расчет $X_{отв КЗ уст}$.

Если защита не проходит по чувствительности и при этом определяющим является $X_{тр БНТ уст}$, то на самом мощном ответвлении устанавливается отдельный комплект защиты и производится новый расчет $X_{тр БНТ уст}$ без учета этого ответвления.

5.2.10.3 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$ по углу максимальной чувствительности и характеристическим углам

Угол максимальной чувствительности вычисляется алгоритмом защиты, исходя из заданных удельных параметров линии (он равен углу наклона характеристики ИО $Z_{от}$ к оси R). Ниже приводятся формулы для его расчета.

Угол наклона характеристики ИО $Z_{отв}$ к оси R :

$$\Phi_{Rотв} = \arctg\left(\frac{X_{1уд}}{R_{1уд}}\right), \quad (54)$$

где $X_{1уд}$ – реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

$R_{1уд}$ – активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности.

Угол наклона нижней правой части характеристики к оси R (IV четверть) - $\Phi_2 = -15^\circ$.

Угол наклона нижней левой части характеристики к оси X (II четверть) - $\Phi_3 = 115^\circ$.

5.2.11 Назначение программных переключателей ХВ и элементов

выдержек времени

Назначения программных переключателей ХВ приведены в таблице 4. Назначения и параметры элементов времени приведены в таблице 5.

Таблица 4 – Назначение программных переключателей ХВ

Обозначение	Назначение	Положение
ХВ1	Работа на ВЛ с ответвлениями	0 – предусмотрена
		1 – не предусмотрена
ХВ2	Работа в сети с тяговой нагрузкой	0 – предусмотрена
		1 – не предусмотрена
ХВ3	Работа с ОАПВ	0 – предусмотрена
		1 – не предусмотрена
ХВ4	Трансформатор напряжения	0 – на шинах
		1 – на линии
ХВ5	Подтверждение пуска УРОВ от РПВ (КQC)	0 – предусмотрена
		1 – не предусмотрена
ХВ6	Действие УРОВ «на себя»	0 – не предусмотрено
		1 – предусмотрено
ХВ7	Пуск ВЧ при выводе защиты	0 – не предусмотрен
		1 – предусмотрен
ХВ8	Сигнализация пуска на отключение	0 – не предусмотрена
		1 – предусмотрена
ХВ9	Инверсия сигнала запрета АК	0 – не предусмотрена
		1 – предусмотрена
ХВ10	ПО I_0	0 - выведен
		1 – в работе
ХВ11	Совместная работа с ДФЗ-201 (ДФЗ-504)	0 – не предусмотрена
		1 – предусмотрена
ХВ12	Обмен ВЧ сигналами	0 – не манипулированный
		1 – манипулированный
ХВ13	Фазировка ОМ ДФЗ-504	0 – не предусмотрена
		1 – предусмотрена

Таблица 5 – Назначение и параметры элементов времени

Обозначение	Назначение	t , с
DT1	Вывод $Z_{от}$	0,2
DT2	Действие БНН	5,0
DT3	Задержка сигнала отключения	0,001...0,15
DT4	Вывод подхвата от $Z_{от}$	0,2
DT5	Задержка запрета пуска ВЧ	0,005
DT6	Продление запрета пуска ВЧ	0,2
DT7	Продление запрета АПК	0,6
DT8	Задержка отключения от РЗ	0,02
DT9	Задержка пуска УРОВ	0,02
DT10	Продление пуска УРОВ	0,1
DT11	Задержка сигнала на выходе ОСФ	0,04
DT12	Продление запрета сигнала отключения	0,05
DT13	Продление сигнала отключения	0,025
DT14	Продление сигнала пуска ВЧ	0,6
DT15	Задержка сигнала «Вызов»	5,0
DT16	Задержка действия УРОВ	0,1...0,6
DT17	Задержка сигнализации вывода ДФЗ	2,0
DT18	Задержка сигнала «Неиспр.ПП»	2,0
DT19	Задержка сигнализации запрета ВЧ	5,0
DT20	Продление сигнала отключения ДФЗ	0,025
DT21	Задержка взятия данных для ОМП	0,01...0,06
DT22	Время проверки светодиодов	3,0
DT23	Задержка сигнала отключ. для ВЛ без ответвлений	0,01
DT24	Задержка сигнала отключ. для ВЛ с ответвлениями	0,02
DT25	Подхват сигнала отключения от ДФЗ	0,02
DT26	Продление сигнала пуска внешнего УРОВ	0,025

5.3 Пример расчета уставок ДФЗ, на ЛЭП 220 кВ с двусторонним питанием без ответвлений

На ВЛ 220 кВ в качестве основной защиты установлена дифференциально-фазная защита линии (рисунок 8). Исходные данные для расчета приведены в таблице 6.

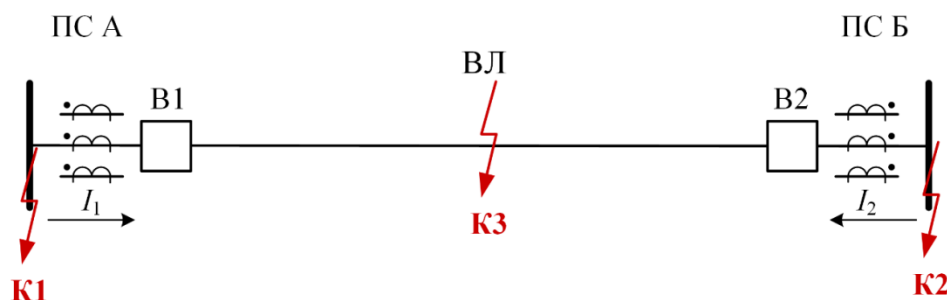


Рис. 8 – ЛЭП 220 кВ с двусторонним питанием без ответвлений

Таблица 6

Группа параметров	Наименование параметра	Значение
Параметры ЛЭП	Длина линии	73,8 км
	Удельное сопротивление прямой последовательности ЛЭП	0,075+j0,407 Ом/км
	Удельное сопротивление нулевой последовательности ЛЭП	0,368+j1,205 Ом/км
	Удельная проводимость линии прямой последовательности	$2,73 \cdot 10^{-6}$ См/км
Параметры ТТ	Коэффициент трансформации ТТ	1000/5
	Класс точности ТТ	10Р
Параметры нагрузочного режима	Максимальный рабочий ток нагрузки	835 А
	Угол нагрузки	30 °
Токи КЗ	Минимальный ток обратной последовательности пар однофазном КЗ, ток со стороны ПС А	535 А
	Минимальный ток обратной последовательности при однофазном КЗ, ток со стороны ПС Б	401 А
	Ток прямой последовательности при двухфазном КЗ на землю	1184 А
	Ток обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю	601 А
	Ток прямой последовательности при однофазном КЗ	909 А
	Ток обратной последовательности при однофазном КЗ	769 А
	Минимальный ток прямой последовательности при трехфазном КЗ	1219 А
	Максимальный ток прямой последовательности при трехфазном КЗ, ток со стороны ПС А	1500 А
	Максимальный ток прямой последовательности при трехфазном КЗ, ток со стороны ПС Б	2832 А

Примечание – максимальный рабочий ток нагрузки принят равным значению тока, допустимого по нагреву для провода марки АС400.

Трансформаторы напряжения на ПС А и ПС Б одинаковые, установлены на шинах и имеют коэффициент трансформации для цепи «звезда» 220 кВ / 100 В в масштабе линейных величин или 127 кВ / 57 В в масштабе фазных величин.

Для цепи «открытый треугольник», соответственно, коэффициент трансформации равен 220 кВ / 173 В в масштабе линейных величин или 127 кВ / 100 В в масштабе фазных величин.

Выбор уставки ПО $I_{ЛБЛ}$, действующего на блокировку

Уставка ПО $I_{ЛБЛ}$, определяется по выражению (1)

$$I_{ЛБЛУСТ} = \sqrt{3} \cdot k_{ОТС} \cdot I_{РАБ\ МАКС} = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 835 = 1880 \text{ А.}$$

Уставка выбирается одинаковой для обоих комплектов, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же наибольший из максимальных рабочих токов $I_{МАКС\ РАБ}$ по концам линии.

Выбор уставки ПО $I_{ЛОТ}$, действующего на отключение

Уставка $I_{ЛОТУСТ}$ выбирается исходя из отстройки от уставки $I_{ЛБЛУСТ}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента ответвления (2)

$$I_{ЛБЛУСТ} = k_{ОТС} \cdot k_{ОТВ} \cdot I_{ЛБЛУСТ} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1880 = 2444 \text{ А.}$$

Поскольку рассматриваемая ВЛ не имеет ответвлений, коэффициент ответвления принимается равным $k_{ОТВ} = 1$.

Выбор уставки ПО $I_{2БЛ}$, действующего на блокировку

Уставка $I_{2БЛУСТ}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого по выражению (6):

$$I_{2НБ\ РАСЧ} = \frac{I_{ЛБЛУСТ}}{\sqrt{3}} \cdot (\varepsilon + k_f \cdot Df + D\phi + k_{2\text{НЕСИМ}}) = \left(\frac{1880}{\sqrt{3}}\right) \cdot 0,062 = 67,3 \text{ А.}$$

Для обоих полукомплектов уставки выбираются одинаковыми, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же $I_{ЛБЛУСТ}$

$$I_{2БЛУСТ} = \frac{k_{ОТС} \cdot I_{2НБ\ РАСЧ}}{k_B} = \frac{1,3 \cdot 67,3}{0,95} = 92,1 \text{ А.}$$

Выбор уставки ПО $I_{2ОТ}$

Уставка $I_{2ОТУСТ}$ выбирается исходя из следующих критериев:

- отстройки от $I_{2БЛУСТ}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента ответвления (7)

$$I_{2ОТУСТ} = k_{ОТВ} \cdot k_{ОТС} \cdot I_{2БЛУСТ} = 1 \cdot 2 \cdot 92,1 = 184,2 \text{ А.}$$

- отстройки от составляющей обратной последовательности ёмкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение.

Ёмкостной ток линии определяется по выражению (12)

$$I_{\text{ЁМК}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \cdot b_1 \cdot L_{\text{Л}} = \frac{220000}{\sqrt{3}} \cdot 2,73 \cdot 10^{-6} \cdot 73,8 = 25,6 \text{ А.}$$

Величина емкостного тока линии обратной последовательности определяется по выражению (11)

$$I_{2 \text{ ОТ ЁМК УСТ}} = k_{\text{ОТС}} \cdot \frac{I_{\text{ЁМК}}}{3} = 2 \cdot \frac{25,6}{3} = 17,1 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{2 \text{ ОТ УСТ}} = 184,2 \text{ А.}$

Определение коэффициента чувствительности для ПО $I_{2 \text{ ОТ}}$

Коэффициент чувствительности рассчитывается для каждого полукомплекта по выражению (13).

Для комплекта ПС А минимальный ток КЗ обратной последовательности в точке К2 $I_{2 \text{ КЗ МИН}} = 535 \text{ А:}$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ МИН}}}{I_{2 \text{ ОТ УСТ}}} = \frac{535}{184,2} = 2,9.$$

Для комплекта ПС Б минимальный ток КЗ обратной последовательности в точке К1 $I_{2 \text{ КЗ МИН}} = 401 \text{ А:}$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ МИН}}}{I_{2 \text{ ОТ УСТ}}} = \frac{401}{184,2} = 2,2.$$

Поскольку $k_{\text{ч}} > 2$, то необходимо загрузить уставку до $k_{\text{ч}} = 2$ для полукомплекта ПС Б с наименьшим коэффициентом чувствительности $k_{\text{ч}} = 2,2$.

Таким образом, получим новую уставку $I_{2 \text{ ОТ УСТ}}$, одинаковую для двух концов линии:

$$I_{2 \text{ ОТ УСТ}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ МИН}}}{k_{\text{ч}}} = \frac{401}{2} = 200,5 \text{ А.}$$

По ней уточним

$$I_{2 \text{ БЛУСТ}} = 0,5 \cdot I_{2 \text{ ОТ УСТ}} = 0,5 \cdot 200,5 = 100,25 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{2 \text{ БЛУСТ}} = 100,25 \text{ А, } I_{2 \text{ ОТ УСТ}} = 200,5 \text{ А.}$

Выбор уставки ПО $3I_{0 \text{ БЛ}}$, действующего на блокировку

Пусковые органы по току нулевой последовательности $3I_0$ ($I_{0 \text{ БЛ}}$ и $I_{0 \text{ ОТ}}$) в рассматриваемом случае не используются, поскольку рассчитанный коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}} = 2$ не принадлежит области $1,5 \leq K_{\text{ч}} < 2$. Программную накладку **ХВ7_ДФЗ ПО I_0** необходимо установить в положение 0 – выведен.

Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности по току

M_0 в рассматриваемом примере не используется, т.к. M_0 используется только для линий с ответвлениями без питания.

Выбор уставки ПО по приращению DI_2 , действующего на блокировку

Уставка токового органа DI_2 определяется по выражению (24)

$$DI_{2\text{БЛУСТ}} = k_{\text{ОТС}} \cdot I_{2\text{БЛУСТ}} = 0,7 \cdot 100,25 = 70,2 \text{ А.}$$

Принимаем $DI_{2\text{БЛУСТ}} = 70,2 \text{ А.}$

Выбор уставки ПО по приращению DI_2 , действующего на отключение

Уставка $DI_{2\text{ОТУСТ}}$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего токового органа $DI_{2\text{БЛ}}$ (25)

$$DI_{2\text{ОТУСТ}} = k_{\text{ОТС}} \cdot DI_{2\text{БЛУСТ}} = 2 \cdot 70,2 = 140,4 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности $k_{\text{Ч}}$ не проверяется.

Принимаем $DI_{2\text{ОТУСТ}} = 140,4 \text{ А.}$

Выбор уставки ПО по приращению DI_1 , действующего на блокировку

Уставка $DI_{1\text{ОТУСТ}}$ выбирается исходя из отстройки от уставки $DI_{2\text{БЛУСТ}}$ (26)

$$DI_{1\text{БЛУСТ}} = k_{\text{ОТС}} \cdot DI_{2\text{БЛУСТ}} = 4 \cdot 70,2 = 280,8 \text{ А.}$$

Принимаем $DI_{1\text{БЛУСТ}} = 280,8 \text{ А.}$

Выбор уставки ПО по приращению DI_1 , действующего на отключение

Уставка $DI_{1\text{ОТУСТ}}$ выбирается исходя из отстройки от $DI_{2\text{ОТУСТ}}$ (27)

$$DI_{1\text{ОТУСТ}} = k_{\text{ОТС}} \cdot DI_{2\text{ОТУСТ}} = 4 \cdot 140,4 = 561,6 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности $k_{\text{Ч}}$ не проверяется.

Принимаем $DI_{1\text{ОТУСТ}} = 561,6 \text{ А.}$

Расчет коэффициента комбинированного фильтра

Поскольку в программном обеспечении по расчету токов КЗ расчет производился с учетом тока нагрузки, то для каждого полукомплекта коэффициент K рассчитывается по (29):

$$K = 1,5 \cdot \frac{I_1^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}} = 1,5 \cdot \frac{1184}{601} = 2,9.$$

$$K = 1,5 \cdot \frac{I_1^{(1)}}{I_2^{(1)}} = 1,5 \cdot \frac{909}{769} = 1,8.$$

Т.к. максимальное значение K получилось меньше 6, то K приравниваем к 6.

Коэффициент комбинированного фильтра токов $K = 6$ выбираем одинаковым для обоих концов ВЛ.

Определение коэффициента чувствительности органа манипуляции при несимметричных КЗ

Так как пуск органа манипуляции происходит при токе, равном $I_{2\text{БЛУСТ}}$, то коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ необходимо рассчитывать по формуле (30):

$$\begin{aligned}k_{\text{ч МАН НЕСИМ}} &= \frac{|I_2^{(1,1)} - I_1^{(1,1)}/k|}{I_{2\text{БЛУСТ}}} = \\&= \frac{|601 - 1184/6|}{100,25} = 4. \\k_{\text{ч МАН НЕСИМ}} &= \frac{|I_2^{(1)} - I_{\text{РАБ МАКС}}/k|}{I_{2\text{БЛУСТ}}} = \\&= \frac{|769 - 835/6|}{100,25} = 6,3.\end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ $k_{\text{ч МАН НЕСИМ}}$ больше 1,1, условие выполняется.

Определение коэффициента чувствительности органа манипуляции при симметричных КЗ

Разрешение на манипуляцию происходит при токе, равном $I_{2\text{БЛУСТ}}$, поэтому коэффициент чувствительности необходимо определять по выражению (31):

$$k_{\text{ч МАН СИМ}} = \frac{\min(I_1^{(3)})}{K \cdot I_{2\text{БЛУСТ}}} = \frac{1219}{6 \cdot 100,25} = 2,02$$

Коэффициент чувствительности манипуляции при симметричных КЗ $k_{\text{ч МАН СИМ}}$ больше 1,1, условие выполняется.

Выбор уставки по углу блокировки ОСФ

Уставка $\Phi_{\text{БЛ}}$ определяется исходя из данных таблицы 1: поскольку длина линии составляет 73,8 км, уставку угла блокировки принимаем равной $\Phi_{\text{БЛ}} = 60^\circ$.

Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{ОТКЛ}}$ по активной составляющей $R_{\text{ОТКЛ}}$

Минимальное активное и реактивное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (33) и (34) соответственно

$$R_{\text{МИН РАБ}} = \frac{0,9 \cdot U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{РАБ МАКС}} \cdot \cos(\Phi_{\text{Н}})} = \frac{0,9 \cdot 220000}{\sqrt{3} \cdot 835 \cdot \cos(30^\circ)} = 158,1 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{МИН РАБ}} = \frac{0,9 \cdot U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{РАБ МАКС}} \cdot \sin(\Phi_{\text{Н}})} = \frac{0,9 \cdot 220000}{\sqrt{3} \cdot 835 \cdot \sin(30^\circ)} = 273,8 \text{ Ом.}$$

Угол максимальной чувствительности определяется по выражению

$$\Phi_{\text{МЧ}} = \arctg\left(\frac{X_{1 \text{ УД}}}{R_{1 \text{ УД}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,407}{0,075}\right) = 80^\circ.$$

Уставка по активной составляющей $R_{\text{ОТКЛ}}$ определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии (32).

$$R_{\text{ОТКЛ УСТ}} = \left(R_{\text{МИН РАБ}} - \frac{X_{\text{РАБ МИН}}}{\tan(\Phi_{\text{МЧ}})}\right) / k_{\text{Н}} = \left(158,1 - \frac{273,8}{\tan(80^\circ)}\right) / 1,6 = 67 \text{ Ом.}$$

Проверка чувствительности при КЗ через переходное сопротивление $R_{\text{П}}$

Рассматриваемая ВЛ не имеет ответвлений, поэтому проверка чувствительности выполняется по выражению (35):

$$R_{\text{ЧУВСТ}} = 1,5 \cdot \left((R_{1 \text{ УД}} \cdot L) + R_{\text{Д}} \cdot \left(1 + \frac{I_{1 \text{ Б}}^{(3)}}{I_{1 \text{ А}}^{(3)}} \right) \right) = 1,5 \cdot \left((5,52) + 5 \cdot \left(1 + \frac{2832}{1500} \right) \right) = 30 \text{ Ом}$$

$R_{\text{ЧУВСТ}}$ должно быть меньше или равно $0,7 \cdot R_{\text{ОТКЛ УСТ}}$

$$30 \leq 47.$$

Защита проходит по чувствительности.

Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{ОТКЛ}}$ по реактивной составляющей $X_{\text{ОТКЛ}}$

Уставка по реактивной составляющей сопротивления $X_{\text{ОТКЛ УСТ}}$ определяется исходя из критерия надежного охвата всей длины линии - $X_{\text{ОТКЛ L УСТ}}$.

Так как длина линии $L < 150$ км, то определяем $X_{\text{ОТКЛ L УСТ}}$ по выражению (40)

$$X_{\text{ОТКЛ L УСТ}} = 2 \cdot X_{1 \text{ УД}} \cdot L = 2 \cdot 30,06 = 60 \text{ Ом.}$$

Окончательный выбор уставок по R и X производится после проверки чувствительности с учетом $R_{\text{Д}}$ по программе АРМ (влияние дуги будет точнее): т.е. рассчитываются максимальные замер $R_{\text{ЧУВСТ}}$ и $X_{\text{ЧУВСТ}}$ при КЗ в конце линии и на подстанциях ответвлений, при этом при этом должно выполняться неравенство:

$$R_{\text{ЧУВСТ}} \leq 0,8 \cdot \left(\frac{R_{\text{ОТКЛ УСТ}} + X_{\text{ЧУВСТ}}}{\tan(\Phi_{\text{МЧ}})} \right) \text{ и } X_{\text{ЧУВСТ}} \leq 0,8 \cdot X_{\text{ОТКЛ УСТ}}.$$

Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{ОТКЛ}}$ по углу максимальной чувствительности

Угол наклона характеристики ИО $Z_{\text{ОТКЛ}}$ к оси R (42):

$$\Phi_1 = \arctg\left(\frac{X_{1 \text{ УД}}}{R_{1 \text{ УД}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,407}{0,075}\right) = 80^\circ.$$

Выбор уставки реле сопротивления Z_{OTB}

Рассматриваемая ВЛ не имеет ответвлений, поэтому расчет уставок Z_{OTB} не производился. Программная накладка **XB1_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями** устанавливается в положение не предусмотрена.

Форма бланка уставок и параметров ДФЗ терминала

Таблица 7

Основное меню	Меню	Подменю		Содержание сообщения и диапазон изменения параметра, (пункт МУ расчета параметра)	Значение Перв / втор
ТТ, ТН [050901]	Пер/втор.анало г. входов [050911]	050201	Перв.анал.вх.laB 1	Первичная величина датчика аналогового входа Ia B1 (0.001-1000000.000) ,А	1000.000
		050202	Втор.анал.вх.laB 1	Вторичная величина датчика аналогового входа Ia B1 (1-5) ,А	5
		050203	Перв.анал.вх.laB 2	Первичная величина датчика аналогового входа Ia B2 (0.001-1000000.000) ,А	1000.000
		050204	Втор.анал.вх.laB 2	Вторичная величина датчика аналогового входа Ia B2 (1-5) ,А	5
		050205	Перв.анал.вх.3I0 //	Первичная величина датчика аналогового входа 3I0// (0.001-1000000.000) ,А	1000.000
		050206	Втор.анал.вх.3I0 //	Вторичная величина датчика аналогового входа 3I0// (1-5) ,А	5
		050207	Перв.анал.вх.Ua	Первичная величина датчика аналогового входа Ua (0.001-1000000.000) ,В	220000.000
		050208	Втор.анал.вх.Ua	Вторичная величина датчика аналогового входа Ua (0.001-1000000.000) ,В	100.000
		050209	Перв.анал.вх.Ун и	Первичная величина датчика аналогового входа Уни (0.001-1000000.000) ,В	220000.000
		050210	Втор.анал.вх.Ун и	Вторичная величина датчика аналогового входа Уни (0.001-1000000.000) ,В	173.203
	ТТ [050912]	050251	ТТ В2	ТТ В2 (используется,не используется)	не используется
		050253	ТТ 3I0 // линии	ТТ 3I0 // линии (используется,не используется)	используется
		050257	Обнуление ТТ В1	Обнуление ТТ В1	-
		050258	Обнуление ТТ В2	Обнуление ТТ В2	-
Параметры линии [050902]	050341	Lл	Длина линии Lл (0.00-10000.00) ,км	73.8	
	050343	r1	Удельное активное сопротив.прямой последовательности (0.0001-100.00) /Iном,Ом/км	0.075 / 0.015	
	050344	x1	Удельное реактивное сопротив.прямой последовательности (0.0001-100.00) /Iном,Ом/км	0.407 / 0.0814	
	050346	r0	Удельное активное сопротив.нулевой последовательности (0.0001-100.00) /Iном,Ом/км	0.368 / 0.0736	
	050347	x0	Удельное реактивное сопротив.нулевой последовательности (0.0001-100.00) /Iном,Ом/км	1.205 / 0.241	
	050348	r0M	Удельное активное сопротив.взаимоинд.нулевой послед.r0M с //ВЛ (0.0001-100.00) /Iном,Ом/км	0.0940 / 0.0171	
		050349	x0M	Удельное реактивное сопротив.взаимоинд.нулевой послед.x0M с //ВЛ (0.0001-100.00) /Iном,Ом/км	0.316 / 0.057
ДФЗ [103901]	Уставки ПО [103911]	103201	Исп ПО 3I0 бл	Исп ПО 3I0, блокирующий (0.10-1.00) Iном,А, (п. 5.2.3)	750.00 / 3.75
		103202	Исп ПО 3I0 от	Исп ПО 3I0, отключающий (0.20-2.00) Iном,А, (п. 5.2.3)	1500.00 / 7.50

Продолжение таблицы 7

		103203	Иср ПО I2 бл	Иср ПО I2, блокирующий (0.05-0.50) /ном,А, (п. 5.2.2.)	100.25 / 0,05
		103204	Иср ПО I2 от	Иср ПО I2, отключающий (0.10-1.00) /ном,А, (п. 5.2.2.)	200.5 / 1.00
		103205	Иср ПО Iл бл	Иср ПО Iл (АВ), блокирующий (0.20-4.00) /ном,А, (п. 5.2.1.)	1880.00 / 9.40
		103206	Иср ПО Iл от	Иср ПО Iл (АВ), отключающий (0.40-8.00) /ном,А, (п. 5.2.1.)	2444.00 / 12.22
		103207	Иср ПО DI2 бл	Иср ПО DI2, блокирующий (0.04-1.50) /ном,А, (п. 5.2.5.)	70.20 / 0.35
		103208	Иср ПО DI2 от	Иср ПО DI2, отключающий (0.06-2.50) /ном,А, (п. 5.2.5.)	140.40 / 0.70
		103209	Иср ПО DI1 бл	Иср ПО DI1, блокирующий (0.08-3.00) /ном,А, (п. 5.2.6.)	280.80 / 1.40
		103210	Иср ПО DI1 от	Иср ПО DI1, отключающий (0.12-5.00) /ном,А, (п. 5.2.6.)	561.60 / 2.81
	Уставки ОМ, ОСФ [103912]	103251	К фильтра	Коэффициент К комбинированного фильтра (4.00-10.00), (п. 5.2.7.)	6.00
		103252	Угол блокировки	Угол блокировки защиты (40.00-65.00),°, (п. 5.2.8)	60.00
		103253	Удлинение ВЧ сигнала	Удлинение сигнала ВЧ приемника (0.00-2.40) ,мс	0.00
	Уставки РС [103913]	103301	X Z от.	Хуст ИО Z, отключающий (1.000-250.000) /Ином,Ом, (п. 5.2.9.)	60.000 / 12.000
		103302	R Z от	Руст ИО Z, отключающий (1.000-250.000) /Ином,Ом, (п. 5.2.9.)	67.000 / 13.400
		103303	Наклон Z от	Наклон ИО Z, отключающий (45.00-89.00) ,°, (п. 5.2.9.)	80.00
		103304	X Z отв	Хуст ИО Z, ответвления (1.000-250.000) /Ином,Ом, (п. 5.2.10)	22.000 / 4.000
		103305	R Z отв	Руст ИО Z, ответвления (1.000-250.000) /Ином,Ом, (п. 5.2.10)	11.000 / 2.000
		103306	Наклон Z отв	Наклон ИО Z, ответвления (45.00-89.00) ,°, (п. 5.2.10)	70.00
		103307	Наклон II кв.	Наклон левой части ИО Z (91.00-135.00) ,°	115.00
		103308	Наклон IV кв.	Наклон нижней правой части ИО Z (-45.00-0.00) ,°	-15.00
		103309	R нагрузки	Руст нагрузочного режима ИО Z (5.00-500.00) /Ином,Ом	13.20 / 2.40
		103310	Угол нагрузки	Угол выреза нагрузочного режима ИО Z (1-70) ,°	15
	Уставки РМ [103914]	103311	Иср ИО M0 разр	Иср ИО M0, разрешающий (0.04-0.50) /ном,А, (п. 5.2.4.)	200.00 / 1.00
		103312	Уср ИО M0 разр	Уср ИО M0, разрешающий (0.5-5.0) ,В, (п. 5.2.4.)	2540.4 / 4.0
		103313	Квын ТН ИО M0	Коэффициент выноса ТН на линию для ИО M0 (0.00-0.50) ,о.е.	0.00
	Уставки времени [103915]	103351	тср ДФЗ	DT1_ДФЗ Задержка сигнала отключения (0.001-0.150) ,с	0.020
	Логика работы [103916]	103401	Работа с ответвлениями	XB1_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями (предусмотрена,не предусмотрена)	не предусмотрена
		103402	Блокир. режима с ответвл.	XB2_ДФЗ Блокировка режима с ответвлениями (не предусмотрена,при неисправности цепей U)	при неисправности цепей U
		103403	Работа с тягой	XB3_ДФЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой (предусмотрена,не предусмотрена)	не предусмотрена
		103404	Пуск ВЧ при выводе ДФЗ	XB4_ДФЗ Пуск ВЧ при выводе защиты (не предусмотрен,предусмотрен)	не предусмотрен
		103405	Сигнализ. пуска отключения	XB5_ДФЗ Сигнализация пуска на отключение (не предусмотрена,предусмотрена)	не предусмотрена

Редакция от 07.12.2020

Окончание таблицы 7

		103406	ПО DI	ХВ6_ДФЗ ПО DI (выведен, в работе)	в работе
		103407	ПО IO	ХВ7_ДФЗ ПО IO (выведен, в работе)	выведен
	Совм. работа с друг. ДФЗ	103451	Совм. работа с МП ДФЗ	Совместная работа с другим МП ДФЗ (не предусмотрена, предусмотрена)	не предусмотрена

Приложение А (рекомендуемое). Удельные параметры ВЛ

Таблица А.1

Марка провода	Число проводов в фазе	Удельная проводимость, $10^{-6} \cdot \text{Сим/км}$	
		110 кВ	220 кВ
АС-50	1	2,53	-
АС-70	1	2,58	-
АС-95	1	2,65	-
АС-120	1	2,69	-
АС-150	1	2,74	-
АС-185	1	2,82	-
АСО-240	1	2,85	2,66
	2	-	3,64
АСО-300	1	2,91	2,71
	2	-	3,70
АСО-400	1	3,00	2,73
	2	-	3,76
АСО-500	1	-	2,79
	2	-	3,70
АСО-600	1	-	2,84

Для определения удельных параметров для схемы нулевой последовательности необходимо задаться соотношением b_0/b_1 , значение которого находится в пределах 0,55 - 0,60. В случае если ВЛ имеет грозозащитные тросы, то диапазон 0,60 - 0,65.

Если в таблице А.1 отсутствуют необходимые параметры, можно производить расчеты по средним значениям проводимости:

- для ВЛ класса напряжения 110-220 кВ $b_1 = 2,76 \cdot 10^{-6}$ Сим/км;
- для ВЛ класса напряжения 330-750 кВ $b_1 = 3,77 \cdot 10^{-6}$ Сим/км.

Приложение Б (рекомендуемое). Функциональные логические схемы

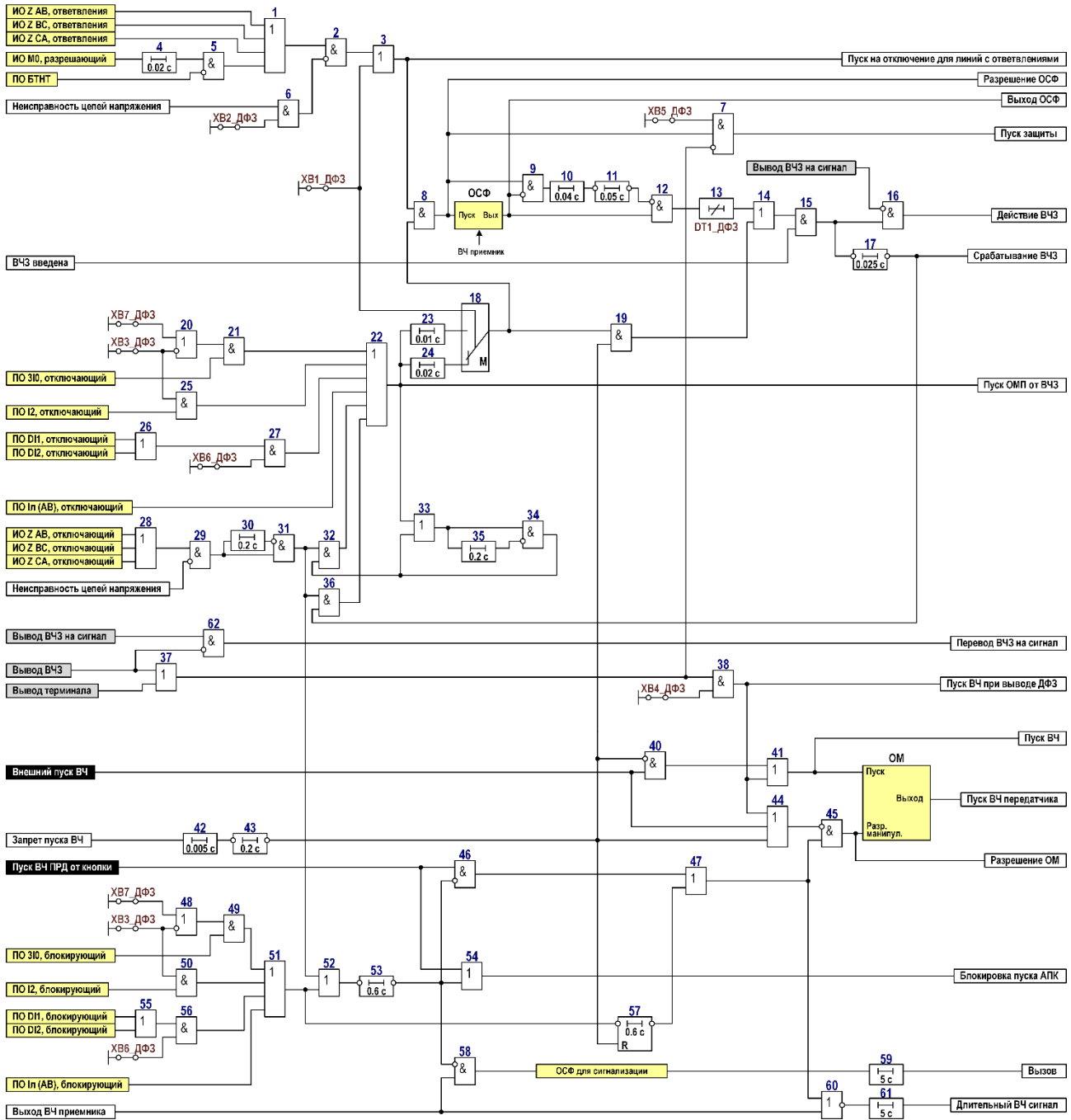


Рис. Б.1 – Функциональная схема логической части узла ДФЗ

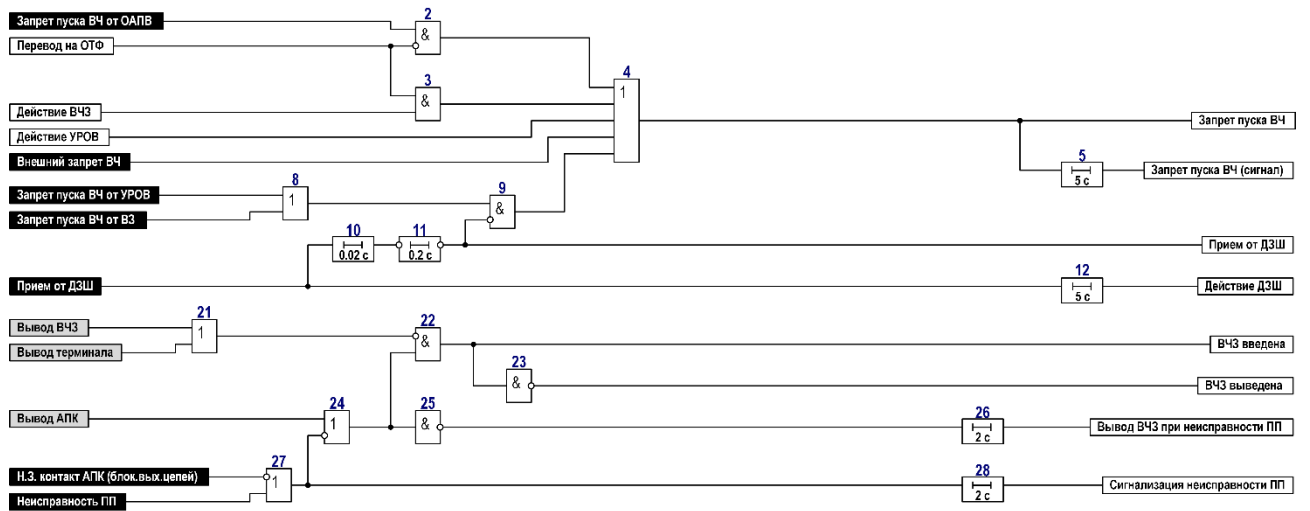


Рис. Б.2 – Функциональная схема логической части узла ВЧЗ

Список литературы

1 Шкафы РЗА серий ШЭ2607, ШЭ2710. Методические указания по проверке и выбору трансформаторов тока. ЭКРА.650323.085 Д.

2 Шкаф дифференциально-фазной защиты линии типа ШЭ2607 081. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.029 РЭ.

3 Дони Н.А., Дони К.Н. Частотные свойства цифровых фильтров симметричных составляющих. – Электричество, №5, 2003.

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер документа	Входящий номер сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	изменённых	заменённых	новых	аннулированных					