



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭКРА»

**ФУНКЦИИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИИ**

**НАПРЯЖЕНИЕМ 110 - 750 кВ**

Рекомендации по выбору уставок

ЭКРА.650323.111 Д7

(Редакция от 05.02.2026)

Авторские права на данную документацию принадлежат ООО НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары).

Снятие копий или перепечатка разрешается только по согласованию с разработчиком.



<https://ekra.ru>

## Содержание

1 Область применения .....	4
2 Термины и определения .....	5
3 Сокращения .....	7
4 Общие положения .....	9
5 Высокочастотная защита линии электропередачи .....	11
5.1 Описание функций Высокочастотных защит .....	11
5.1.1 Общие сведения .....	11
5.1.2 ИО направления мощности (М) .....	12
5.1.3 ПО с пуском по току ОП и торможением по току ПП (I <sub>2т</sub> ) НВЧЗ и ВЧБ .....	18
5.1.4 ПО с пуском по приращению вектора тока (DI) .....	19
5.1.5 ИО сопротивления .....	19
5.1.6 Орган манипуляции ДФЗ и НДЗ (ОМ) .....	29
5.1.7 Орган сравнения фаз ДФЗ и НДЗ (ОСФ) .....	33
5.1.8 Искажения ВЧ сигнала, влияющие на работу ДФЗ (НДЗ) .....	39
5.1.9 Компенсация ёмкостного тока .....	44
5.1.10 Многоконцевые линии электропередачи .....	46
5.1.11 Тупиковые линии и линии со слабым питанием на одной из сторон .....	50
5.1.12 Линии с тяговой нагрузкой .....	51
5.1.13 ДФЗ с оптическим каналом связи в сравнении с ДЗЛ .....	54
5.2 Расчет и выбор параметров настройки (уставок) и алгоритмов .....	54
5.2.1 Выбор уставок ПО с пуском по току ОП (I <sub>2</sub> ) .....	54
5.2.2 Выбор уставок ПО с пуском по напряжению ОП (U <sub>2</sub> ) .....	61
5.2.3 Выбор уставок ПО с пуском по приращению вектора тока ОП (DI <sub>2</sub> ) .....	68
5.2.4 Выбор уставок ПО с пуском по приращению вектора тока ПП (DI <sub>1</sub> ) .....	71
5.2.5 Выбор уставок ПО с пуском по току НП (3I <sub>0</sub> ) .....	74
5.2.6 Выбор уставок ПО с пуском по напряжению НП (3U <sub>0</sub> ) .....	80
5.2.7 Выбор уставок ПО с пуском по модулю разности векторов фазных токов (I <sub>л</sub> ) .....	84
5.2.8 Выбор уставок ИО сопротивлений от междуфазных повреждений (Z) .....	86
5.2.9 Выбор уставок органа манипуляции .....	95
5.2.10 Выбор уставок органа сравнения фаз .....	97
5.2.11 Выбор уставок по времени .....	101
5.2.12 Назначение программных переключателей ХВ для ВЧЗ 110-220 кВ .....	104
5.2.13 Назначение программных переключателей ХВ для ВЧЗ 330-750 кВ .....	110
Приложение 1. Схемы логические функциональных блоков ВЧЗ .....	114
Список литературы .....	118
Лист регистрации изменений .....	120

## 1 Область применения

Настоящие рекомендации по выбору уставок могут применяться для выпускаемых ООО НПП «ЭКРА» цифровых терминалов высокочастотных защит линии БЭ2704(А) (далее терминалов ВЧЗ), в программном обеспечении (ПО) которых реализованы приведенные в таблице 1 функции.

Таблица 1. – Версии алгоритмов функционирования терминала

Наименование функции	Версия алгоритма функционирования
Дифференциально-фазная защита (ДФЗ) 110 - 330 кВ	ДФЗ-1.1.0
Дифференциально-фазная защита (ДФЗ) 330 - 500 кВ	ДФЗ-2.1.0
Направленная высокочастотная защита (НВЧЗ) 110 - 330 кВ	НВЧЗ-1.1.0
Высокочастотная блокировка (ВЧБ) 110 - 330 кВ	ВЧБ-1.1.1
Направленная и дифференциально-фазная защита (НДЗ) 330 - 750 кВ	–

Настоящие рекомендации учитывают режимы совместной работы терминалов ВЧЗ со следующими защитами старого образца:

- ДФЗ-201, ДФЗ-2 (функция ДФЗ);
- ДФЗ-504 (функция ДФЗ);
- ПДЭ-2802 (функция НВЧЗ);
- ЭПЗ-1643 и аналогичные по функционалу панели ЭПЗ/ПЗ (функция ВЧБ);
- ПДЭ-2003 (функция НДЗ).

Режим совместимости с указанными панелями является **вынужденной временной мерой** и по возможности следует производить замену комплектов одновременно на двух концах линии.

## 2 Термины и определения

**Релейная защита (РЗ)** – совокупность устройств, предназначенных для автоматического выявления коротких замыканий и других ненормальных режимов работы линии электропередачи и оборудования, которые могут привести к их повреждению и/или нарушению устойчивости энергосистемы, и действующих на отключение коммутационных аппаратов в целях отключения этих линий электропередачи и оборудования от энергосистемы и/или на формирование предупредительных сигналов.

**Устройство релейной защиты (УРЗ)** – техническое устройство (аппарат, терминал, шкаф, панель) и его цепи, реализующее заданные функции релейной защиты и обслуживаемое (оперативно и технически) как единое целое.

**Комплекс РЗА** – совокупность взаимодействующих между собой устройств РЗА, предназначенных для выполнения взаимосвязанных функций защиты и автоматики оборудования или ЛЭП.

**Система РЗА** – совокупность комплексов РЗА присоединений электроэнергетической сети.

**Параметры настройки устройства релейной защиты** – изменяемые величины в устройстве релейной защиты, определяющие состав и логику работы отдельных функций (блокировок), или допустимый диапазон и шаг изменения величин, обеспечивающие функционирование УРЗ в соответствии с заданным алгоритмом.

**Уставка** – значение параметра настройки устройства релейной защиты, определяющее условия его функционирования.

**Органы (пусковые, блокирующие, отключающие) релейной защиты и автоматики** – 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.

**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.

**Дифференциально-фазная защита (ДФЗ)** – основная защита линии электропередачи с абсолютной селективностью, состоящая из двух и более связанных каналов связи и устанавливаемых по концам линии электропередачи устройств (полукомплектов), предназначенная для отключения линии электропередачи при коротких замыканиях, принцип действия которой основан на косвенном сравнении фаз токов, получаемых с выхода комбинированного фильтра токов каждого полукомплекта, посредством ВЧ сигналов.

**Канал связи (КС)** – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу информации между источником и получателем в виде сигналов электросвязи в определенной полосе частот или с определенной скоростью передачи. Канал связи может быть организован с использованием волоконно-оптических линий связи, высокочастотной связи по линиям электропередачи, кабельным или радиорелейным линиям связи. Для устройств ВЧЗ используется ВЧ канал связи.

**Манипулированный сигнал** – сигнал, передаваемый передатчиком по ВЧ каналу связи, при управлении передатчиком органом манипуляции.

**Орган манипуляции (ОМ)** – элемент в каждом устройстве (полукомплекте) дифференциально-фазной защиты, осуществляющий управление передатчиком в соответствии с сигналом, получаемым с выхода комбинированного фильтра токов.

**Комбинированный фильтр токов** – элемент высокочастотной защиты, преобразующий трехфазную систему токов в однофазную для того чтобы обеспечить защиту трех фаз линии электропередачи, используя один ВЧ - канал.

**Орган сравнения фаз (ОСФ)** – элемент в каждом устройстве (полукомплекте) дифференциально-фазной защиты, осуществляющий косвенное сравнение фазовых углов сигналов комбинированного фильтра токов посредством ВЧ сигналов, получаемых приемником по ВЧ каналу связи.

**Направленная высокочастотная защита (НВЧЗ)** – основная защита линии с абсолютной селективностью, состоящая из двух и более связанных каналов связи и устанавливаемых по концам линии электропередачи устройств (полукомплектов), предназначенная для отключения линии электропередачи при коротких замыканиях, принцип действия которой основан на косвенном сравнении направлений мощности обратной последовательности по концам защищаемой линии электропередачи, посредством ВЧ сигналов.

**Высокочастотная блокировка (ВЧБ)** – основная защита линии с абсолютной селективностью, состоящая из двух и более связанных каналов связи и устанавливаемых по концам линии электропередачи устройств (полукомплектов), предназначенная для отключения линии электропередачи при коротких замыканиях, принцип действия которой основан на косвенном сравнении направлений мощности нулевой последовательности по концам защищаемой линии электропередачи, посредством ВЧ сигналов.

## 3 Сокращения

ЗИПФ	дистанционные избиратели поврежденной фазы
АПВ	автоматическое повторное включение
АУ	автоматическое ускорение
АУВ	автоматика управления выключателем
БК	блокировка при качаниях
БНН	блокировка при неисправностях в цепях напряжения
БТН(БНТ,БТНТ)	бросок тока намагничивания (трансформатора)
В	выключатель
ВЛ	воздушная линия (электропередачи)
ВН	высокое напряжение (сторона трансформатора)
ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи
ВЧ	высокая частота
ВЧКС	высокочастотный канал связи
ВЧБ	высокочастотная блокировка
ВЧЗ	высокочастотная защита (линии)
ДЗ	дистанционная защита
ДЗЛ	дифференциальная защита линии (продольная)
ДФЗ	дифференциально-фазная защита линии
ИО	измерительный орган (анализируется две и более величины)
ИПФ	избиратель поврежденной фазы
ИУ	испытательная установка
КЕТ	компенсация емкостного тока
КЗ	короткое замыкание
КС	канал связи
КСЗ	комплект ступенчатых защит
ЛЭП	линия электропередачи
МП	микропроцессор
НВЧЗ	направленная высокочастотная защита линии
НДЗ	направленная и дифференциально-фазная защита линии
НН	низкое напряжение (сторона трансформатора)
НП	нулевая последовательность (симметричные составляющие)
ОАПВ	однофазное автоматическое повторное включение
ОЛ	опробование линии напряжением
ОМ	орган манипуляции
ОП	обратная последовательность (симметричные составляющие)
ОСФ	орган сравнения фаз
ОТФ	отключение трех фаз
п/к	полукомплект
ПМК	программно-моделирующий комплекс
ПО	пусковой орган; программное обеспечение

ПП	приемопередатчик; прямая послед-ть (симметричные составляющие)
ПУЭ	правила устройства электроустановок
РВУ	рекомендации по выбору уставок
РЗ	резервные защиты
РМ	реле мощности
РНМ	реле направления мощности
РНМНП	реле направления мощности нулевой последовательности
РНМОП	реле направления мощности обратной последовательности
РП	расчетная пауза (ОАПВ)
РПН	регулировка под нагрузкой
РПО	реле положения отключено
РС	реле сопротивления
СС	симметричные составляющие
ТАПВ	трехфазное автоматическое повторное включение
ТЗ	токовая защита
ТН	измерительный трансформатор напряжения
ТТ	измерительный трансформатор тока
УКЕТ	устройство компенсации емкостного тока
ФНОП	фильтр напряжения обратной последовательности
ФТОП	фильтр тока обратной последовательности
ЭДС	электродвижущая сила
э/м	электромагнитный
ЭМ	электромеханический

#### 4 Общие положения

Имена пунктов меню, уставок и дискретных сигналов устройства обозначены в настоящем документе в следующем виде:

##### [300002] Режим теста,

где **[300002]** – идентификационный шестизначный код пункта меню или уставки.

**Режим теста** – наименование параметра, отображаемое в программе мониторинга программного комплекса EKRASMS, либо на индикаторе устройства если параметр не используется в программе мониторинга.

Значения двухпозиционных программных накладок устройства обозначены в следующем виде:

##### 0 - не предусмотрен, 1 - предусмотрен

где **0,1** – порядковые номера положения накладки, используемый в логике как соответствующий логический (бинарный) сигнал;

**не предусмотрен** – наименование положения 0 накладки;

**предусмотрен** – наименование положения 1 накладки.

П р и м е ч а н и е – Наименования накладок даны для примера и могут быть любыми.

Значения многопозиционных программных накладок устройства обозначены в следующем виде:

##### 1 - не предусмотрен, 2 - от РНМр, 3 - от РНМр или РНМб,

где **1,2,3** – порядковые номера положений накладки, используемый в логике для управления положением логического элемента «переключатель входного (выходного) сигнала» с 3-мя и более входами (выходами);

**не предусмотрен** – наименование положения 1 накладки;

**от РНМр** – наименование положения 2 накладки;

**от РНМр или РНМб** – наименование положения 3 накладки;

П р и м е ч а н и е – Многопозиционные программные наклейки имеют нумерацию с единицы.

В расчетах уставок срабатывания пусковых и измерительных органов используются множители для обеспечения селективности и быстродействия защиты. Для однотипных уставок рекомендуемые значения этих множителей задаются одинаковыми согласно таблице 1.

Таблица 1 – Однотипные коэффициенты, используемые в расчетах уставок

Назначение	Значение
Коэффициент отстройки органов по модулю вектора симметричных составляющих от небаланса	1,2
Коэффициент отстройки органов по приращению вектора симметричных составляющих от небаланса	0,84
Коэффициент отстройки органов по приращению вектора симметричных составляющих от КЗ	0,35
Коэффициент отстройки отключающих органов по симметричным составляющим по отношению к блокирующим органам на другом конце линии (коэффициент согласования взаимодействующих полукомплектов)	2,0
Минимально разрешенный* коэффициент отстройки отключающих органов по симметричным составляющим по отношению к блокирующим органам на другом конце линии (коэффициент согласования взаимодействующих полукомплектов)	1,7
Коэффициент чувствительности отключающих органов по симметричным составляющим к замерам тока короткого замыкания	2,0
Коэффициент чувствительности разрешающих органов по симметричным составляющим по отношению к тем органам, действие которых они разрешают	1,2
Коэффициент отстройки ИО сопротивления от отстроечных замеров сопротивления ( $k_{отс} = \frac{1}{k_{\kappa}}$ )	0,83
Коэффициент чувствительности ИО сопротивления к замерам сопротивления коротких замыканий	1,2
* – При значениях коэффициента меньше минимально разрешенного работоспособность устройства может сохраняться, однако предприятие НПП «ЭКРА» снимает с себя ответственность за правильность его функционирования при внешних КЗ.	

## 5 Высокочастотная защита линии электропередачи

### 5.1 Описание функций Высокочастотных защит

#### 5.1.1 Общие сведения

Принцип действия любой ВЧЗ основан на обмене блокирующими ВЧ сигналами. На рисунке 1 показана схема взаимодействия полукомплектов (п/к) существующих видов ВЧЗ при КЗ в различных точках энергосистемы. Подробнее об установке полукомплектов на концах линии описано в п. 5.1.10.1.

В режиме НВЧЗ (ВЧБ) блокирующий ВЧ сигнал сплошной и посылается тем полукомплексом, в котором сработал блокирующий ИО направления мощности по ОП(НП): п/к 1 при КЗ в точке К1, п/к 2 при КЗ в точке К3. При внутренних КЗ (точка К2) оба п/к НВЧЗ не действуют на пуск ВЧ сигнала. Местонахождение КЗ (внешнее / внутреннее) определяется выдержкой времени на срабатывание с функцией сброса набора времени при приеме блокирующего ВЧ сигнала и остановка набора времени при кратковременных помехах в ВЧ сигнале.

**Примечание** – Разница между НВЧЗ и ВЧБ заключается в том, что в ВЧБ действие на отключение и пуск ВЧ происходит без контроля от ПО напряжения НП. Также в ВЧБ останов ВЧ от ИО мощности, действующего на отключение осуществляется с задержкой, тогда как НВЧЗ может подействовать на отключение без пусков ВЧ.

**Примечание** – В качестве блокирующих ИО мощности могут выступать как полноценные ИО (как например в панели ПДЭ-2003), определяющие угол между током и напряжением, так и составные ИО в функционал которых входят логические узлы. Например, ИО мощности состоящий из ПО по току и напряжению, действующий с запретом от отключающего ИО мощности.

На двухконцевой линии электропередач в режиме ДФЗ блокирующий ВЧ сигнал посылается манипулированным обоими полукомплектами не зависимо от точки КЗ на рисунке 1. Местонахождение КЗ определяется органом сравнения фаз (ОСФ) по длительности пауз в ВЧ сигнале, соответствующих углу между токами по концам линии.

Для защиты линий СВН используется комбинированная направленная и дифференциально-фазная защита (НДЗ), сочетающая в себе функции НВЧЗ и ДФЗ, что позволяет иметь преимущества обеих защит и избавляет от их недостатков. В полнофазном режиме работы линии работает функциональная часть НВЧЗ, что позволяет обеспечить по сравнению с ДФЗ: лучшее быстродействие, лучшую помехоустойчивость по ВЧ каналу, менее строгие требования к ТТ, менее строгие требования к приемопередатчикам (особенно на длинных линиях). Однако, по принципу действия НВЧЗ не может работать в неполнофазных режимах ОАПВ и не может работать без цепей напряжения. Поэтому в цикле ОАПВ защита переключается в режим ДФЗ с непрерывным сравнением фаз токов.

**Примечание** – На линиях 110-330 кВ с ответвлениями в ДФЗ возникает необходимость в цепях напряжения из-за использования ИО междуфазного сопротивления и ИО мощности нулевой последовательности. На линиях 330-750 кВ, при относительно большой длине линии, ОМ ДФЗ требует использования компенсации емкостного тока линии (КЕТ). Также на линиях 330-750 кВ с мощной системой за спиной в ДФЗ может возникнуть необходимость ввода в работу ПО по напряжению ОП.

При технической возможности обмена двумя дополнительными телекомандами в НДЗ реализован алгоритм принудительного переключения защиты в режим ДФЗ на обоих концах линии в случае, если возникает неисправность цепей напряжения на одном из концов.

Для обеспечения блокировки защиты при обрыве провода с выхода ВЧ приемника во всех режимах работы терминал ВЧЗ принимает инверсный ВЧ сигнал: состоянии 0 – наличие ВЧ сигнала в ВЧ тракте (импульс), состоянии 1 – отсутствие ВЧ сигнала в ВЧ тракте (пауза).

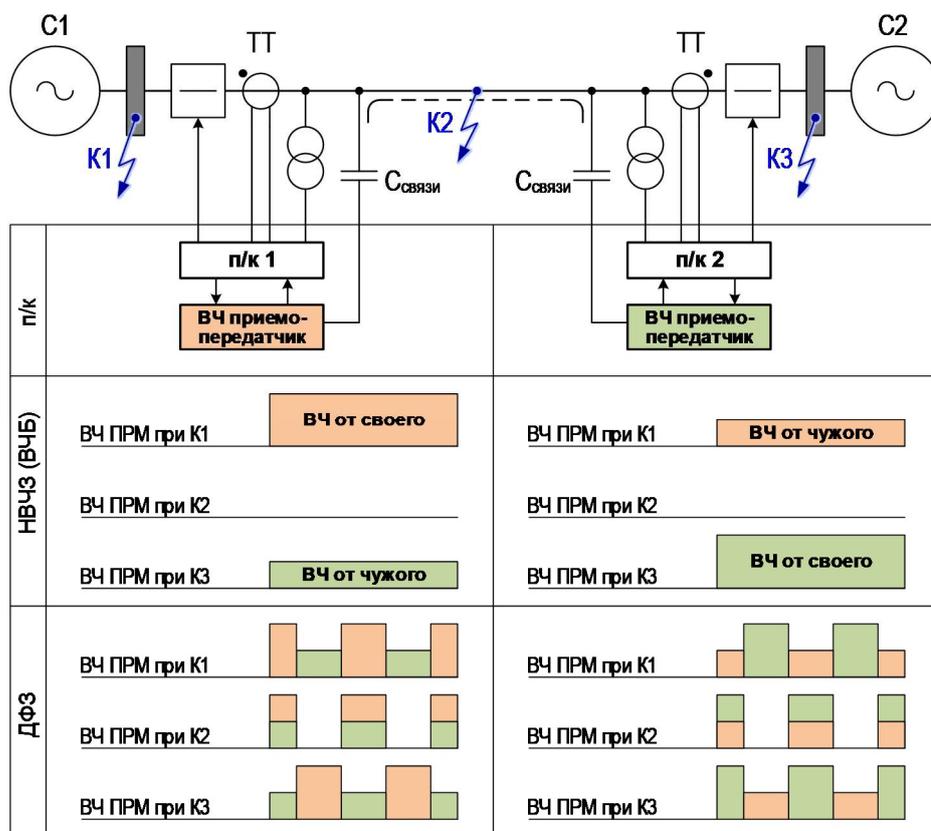


Рис. 1 – Схема взаимодействия полукомплектов НВЧЗ(ВЧБ) и ДФЗ при КЗ в различных точках энергосистемы

## 5.1.2 ИО направления мощности (М)

### 5.1.2.1 ИО мощности ОП НВЧЗ, действующий на отключение (M2 от)

ИО направления мощности ОП используется в качестве основного органа, определяющего действие защиты: при срабатывании – в канал отключения, при несрабатывании – на пуск блокирующего ВЧ сигнала (ненаправленный пуск). На включенной тремя фазами линии ИО мощности правильно определяет направление как при несимметричных КЗ, так и при симметричных КЗ за счет кратковременной несимметрии развивающегося КЗ.

Для повышения чувствительности определения направления мощности ИО  $M_{2\text{от}}$  имеет пороги срабатывания по току и напряжению, контролируемые чувствительными органами  $I_{2\text{бл}}$  и  $U_{2\text{бл}}$ . Действие ИО  $M_{2\text{от}}$  на отключение (рисунок 2) дополнительно контролируется в логике грубыми ПО  $I_{2\text{от}}$  и  $U_{2\text{от}}$ . Ненаправленный пуск блокирующего ВЧ сигнала осуществляется от объединенных логической схемой «И»: ПО  $I_{2\text{бл}}$  и  $U_{2\text{бл}}$  с запретом от ИО  $M_{2\text{от}}$ , что исключает существование «мертвых» зон несрабатывания при определении направления мощности.

ВАХ срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧЗ, снятые на угле максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{МЧ}}$  изображены на рисунке 3. В отличие от НВЧЗ линии 110-220 кВ, в ИО мощности НВЧЗ линии 330-750 кВ применяется компенсация емкостного тока и «вынос ТН на линию» (см структурную схему ИО на рисунке 6). График, обозначенный как «переКЕТ», построен в режиме перекомпенсации емкостного тока линии (п. 5.1.9).

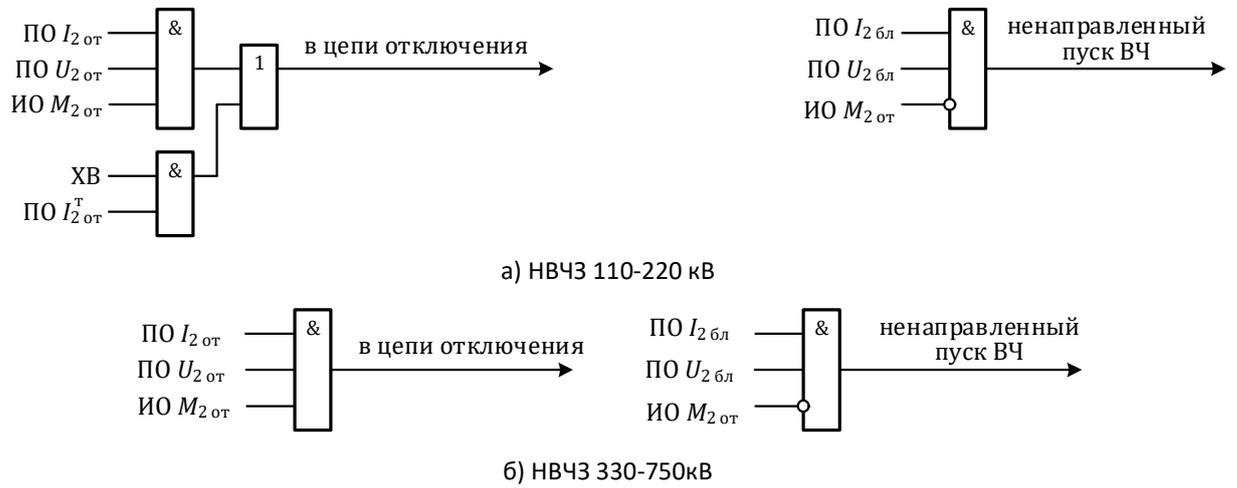


Рис. 2 – Упрощенная логика действия ИО  $M_{2\text{от}}$  в цепи отключения и пуска ВЧ

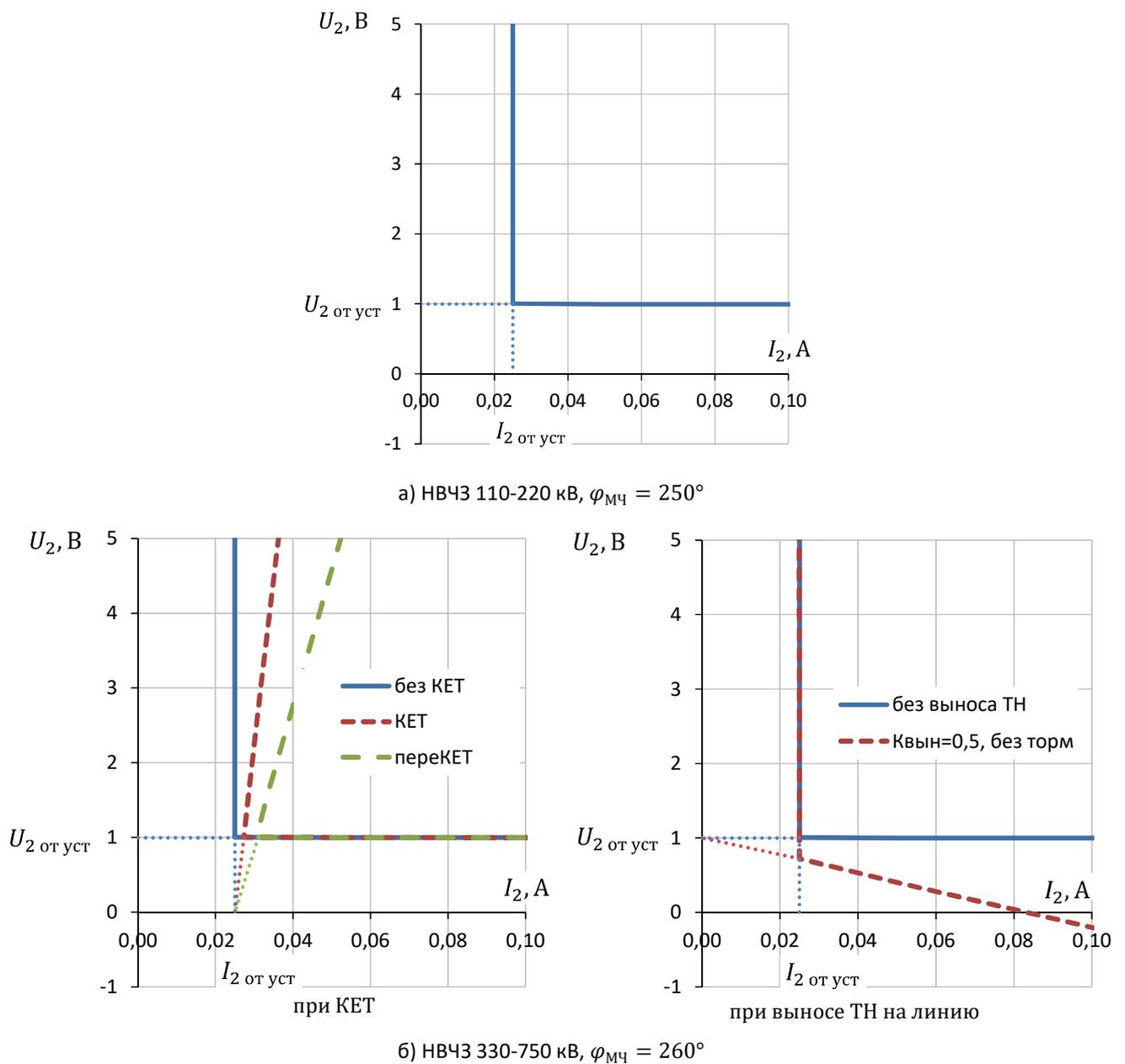


Рис. 3 – ВАХ ИО  $M_{2\text{от}}$  при  $I_{2\text{бл уст}} = 0,025 \text{ A}$ ,  $U_{2\text{бл уст}} = 1 \text{ В}$

Характеристика срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧ3 110-220 кВ в комплексной плоскости сопротивлений показана на рисунке 4. Ширина зоны срабатывания не зависит от кратности тока и всегда составляет  $180^\circ$  с углом максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{мч}} = 250^\circ$ .

Характеристика срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧ3 330-750 кВ в комплексной плоскости сопротивлений показана на рисунке 5. При фиксированном токе с кратностью  $I^*$  относительно уставки зона срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  ограничена сверху гиперболой, повернутой на угол максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{мч}}$ . Ширина зоны срабатывания при кратности тока и напряжения  $U^* = I^* = 3$  (точки  $Z_1$  и  $Z_2$  на гиперболе « $I^* = 3$ ») составляет не менее  $145^\circ$  с углом максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{мч}} = 260^\circ$ . При кратности тока  $I^* \rightarrow \infty$  граница зоны срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  вырождается в прямую линию, проходящую через начало координат перпендикулярно углу  $\varphi_{\text{мч}}$ . При кратности тока  $I^* \rightarrow 1$  граница зоны срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  вырождается в луч, исходящий из точки  $Z_{\text{уст}}$  на угле  $\varphi_{\text{мч}}$ . Область зоны срабатывания при этом стремится к  $\emptyset$ .

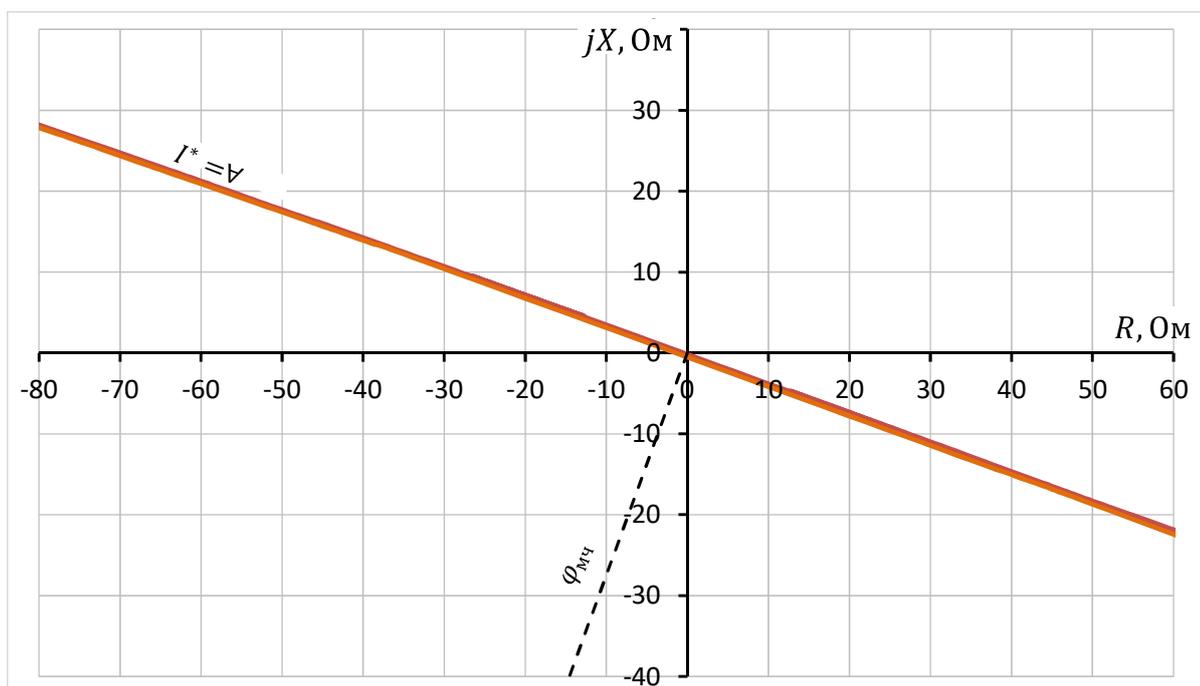


Рис. 4 – Характеристика срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧ3 110-220 кВ в комплексной плоскости сопротивлений для любых ( $\forall$ ) кратностей тока  $I^*$

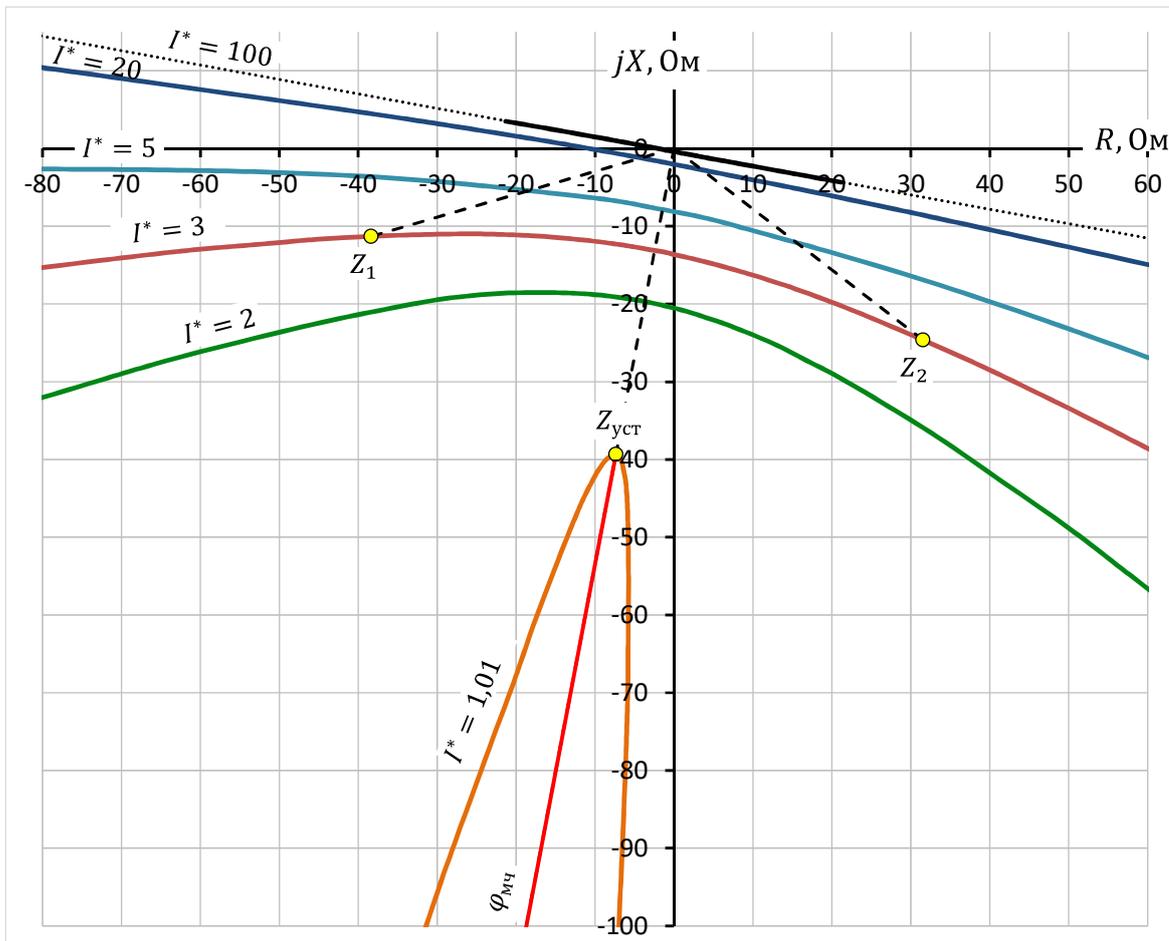


Рис. 5 – Семейство характеристик срабатывания ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧЗ 330-750 кВ в комплексной плоскости сопротивлений для различных кратностей тока  $I^*$ , при уставках по току и напряжению эквивалентных сопротивлению  $Z_{\text{уст}} = 40 \text{ Ом}$

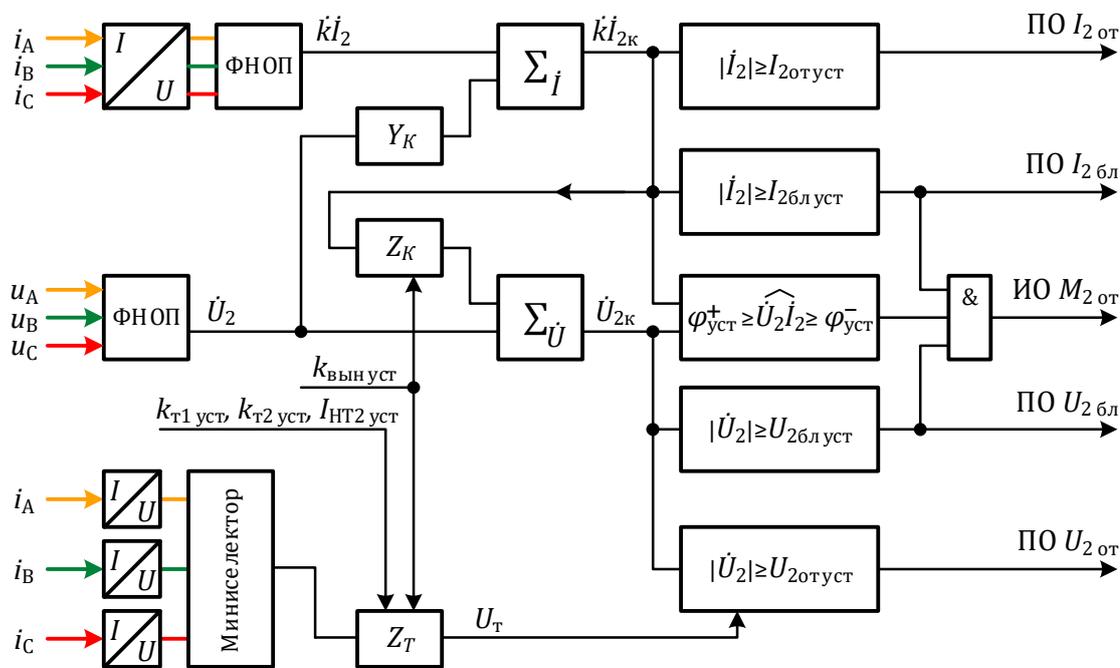


Рис. 6 – Структурная схема ИО  $M_{2\text{от}}$ , PO  $I_{2\text{бл}}, U_{2\text{бл}}, I_{2\text{от}}, U_{2\text{от}}$  НВЧЗ

Структурная схема ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧЗ для линий 330-750 кВ [4] показана на рисунке 6. Трехфазный ток преобразуется в напряжение, по цифровым отсчетам которого с помощью частотно компенсированного ФНОП [5] вычисляется вектор тока ОП  $k\dot{I}_2$ , пропорциональный току ОП. Аналогичный ФНОП по трехфазному напряжению вычисляет вектор  $\dot{U}_2$ , который в блоке « $Y_K$ » компенсации емкостного тока (КЕТ) (п. 5.1.9) преобразуется в ток компенсации и суммируется с вектором  $k\dot{I}_2$  в сумматоре « $\Sigma_j$ ». КЕТ необходима для выравнивания токов защиты при внешних КЗ, а также в режиме опробования (перекомпенсация). Компенсированный вектор  $k\dot{I}_{2к}$  в блоке « $Z_K$ » выноса ТН на линию преобразуется в напряжение компенсации и суммируется с вектором  $\dot{U}_2$  в сумматоре « $\Sigma_U$ ». Компенсированные вектора  $k\dot{I}_{2к}$  и  $\dot{U}_{2к}$  анализируются по модулю в блоках « $|\dot{I}_2| \geq I_{2\text{бл уст}}$ », « $|\dot{U}_2| \geq U_{2\text{бл уст}}$ », и взаимному углу в блоке « $\varphi_{\text{уст}}^+ \geq \widehat{U_2 \dot{I}_2} \geq \varphi_{\text{уст}}^-$ » и формируют выходные сигналы ПО  $I_{2\text{бл}}$ ,  $U_{2\text{бл}}$  и ИО  $M_{2\text{от}}$ . Выходные сигналы грубых пороговых органов  $I_{2\text{от}}$ ,  $U_{2\text{от}}$  формируются в блоках « $|\dot{I}_2| \geq I_{2\text{от уст}}$ », « $|\dot{U}_2| \geq U_{2\text{от уст}}$ » из тех же величин  $k\dot{I}_{2к}$  и  $\dot{U}_{2к}$ . Однако, для ПО  $U_{2\text{от}}$  порог срабатывания динамически меняется в зависимости от величины минимального из фазных токов, выбираемого миниселектором из преобразованных в напряжения фазных величин. Минимальное напряжение с выхода миниселектора подается на блок « $Z_T$ » для формирования тормозной величины  $U_T$ . Итоговый порог срабатывания  $U_{2\text{от порог}}$  отключающего органа  $U_{2\text{от}}$  вычисляется по формуле:

$$U_{2\text{от порог}} = \max(U_{2\text{от уст}}, k_{T1\text{уст}} k_{\text{вын уст}} |Z_1| (I_{\text{ф мин}} - I_{\text{ном}}) + U_{2\text{от уст}}, k_{T2\text{уст}} k_{\text{вын уст}} |Z_1| (I_{\text{ф мин}} - I_{\text{HT2 уст}}^* I_{\text{ном}}) + k_{T1\text{уст}} k_{\text{вын уст}} |Z_1| I_{\text{ном}} (I_{\text{HT2 уст}}^* - 1) + U_{2\text{от уст}}), \quad (1)$$

где  $U_{2\text{от уст}}$  – уставка горизонтального участка торможения ПО  $U_{2\text{от}}$  НВЧЗ;

$k_{T1\text{уст}}$  – уставка по коэффициенту торможения первого участка торможения;

$k_{T2\text{уст}}$  – уставка по коэффициенту торможения второго участка торможения;

$I_{\text{ф мин}}$  – модуль минимального из трех фазных токов на зажимах устройства;

$I_{\text{HT2 уст}}^*$  – уставка по кратности тока начала второго участка торможения;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток устройства;

$Z_1$  – комплексное сопротивление линии по ПП, рассчитываемое по формуле:

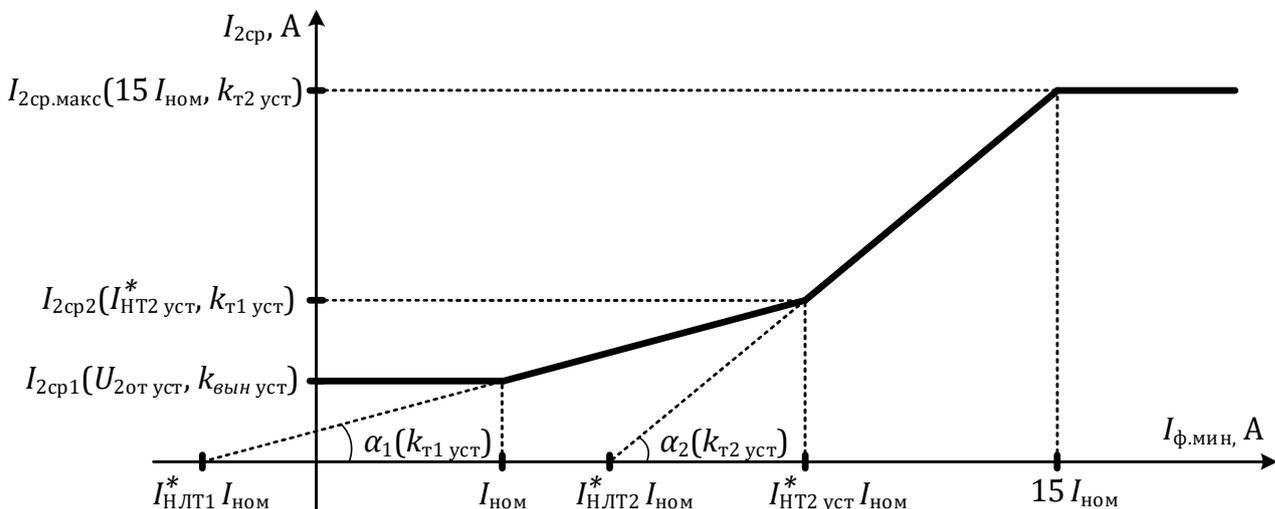
$$Z_1 = (r_{1\text{уст}} + jx_{1\text{уст}}) \cdot L_{\text{л уст}} \quad (2)$$

где  $r_{1\text{уст}}$  – уставка по удельному активному сопротивлению линии по ПП;

$x_{1\text{уст}}$  – уставка по удельному реактивному сопротивлению линии по ПП;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка по длине линии.

Характеристика торможения ПО  $U_{2\text{от}}$  в общем виде показана на рисунке 7.



$I_{НЛТ1}^*, I_{НЛТ2}^*$  – кратности токов в точках начала лучей торможения (НЛТ)

Рис. 7 – Характеристика торможения ПО  $U_{2от}$  без подведения к ПО напряжения

### 5.1.2.2 ИО мощности НП ВЧБ, действующий на отключение (M0 разр) и ИО мощности НП выявления повреждения на ответвлении (M0 разр)

Пороги срабатывания по току и напряжению ИО  $M_{0 разр}$  выбираются уставками в меню:

- для [103901] ДФЗ без КСЗ в меню [103914] Уставки РМ;
- для [105901] ВЧБ без КСЗ в меню [105913] Уставки РМ;
- для [103901] ДФЗ и [105901] ВЧБ с КСЗ в меню [108912] Уставки РМ из состава функции [108901] ТНЗНП.



Рис. 8 – Упрощенная логика действия ИО и ПО ВЧБ в цепи отключения и пуска ВЧ

ИО  $M_{0 разр}$  реагирует на напряжение НП, вычисленное из напряжения на зажимах устройства звезды или разомкнутого треугольника, в зависимости от положения программной накладки [050273] Напряжение 3U0, однако уставка во вторичных величинах всегда задается в масштабе междуфазных величин.

ВАХ срабатывания ИО  $M_{0 разр}$  ВЧБ, снятая на угле максимальной чувствительности изображена на рисунке 9. ИО мощности в защитах линии 110-220 кВ имеет  $\varphi_{MЧ} = 250^\circ$ , в защитах линии 330-750 кВ имеет  $\varphi_{MЧ} = 260^\circ$ .

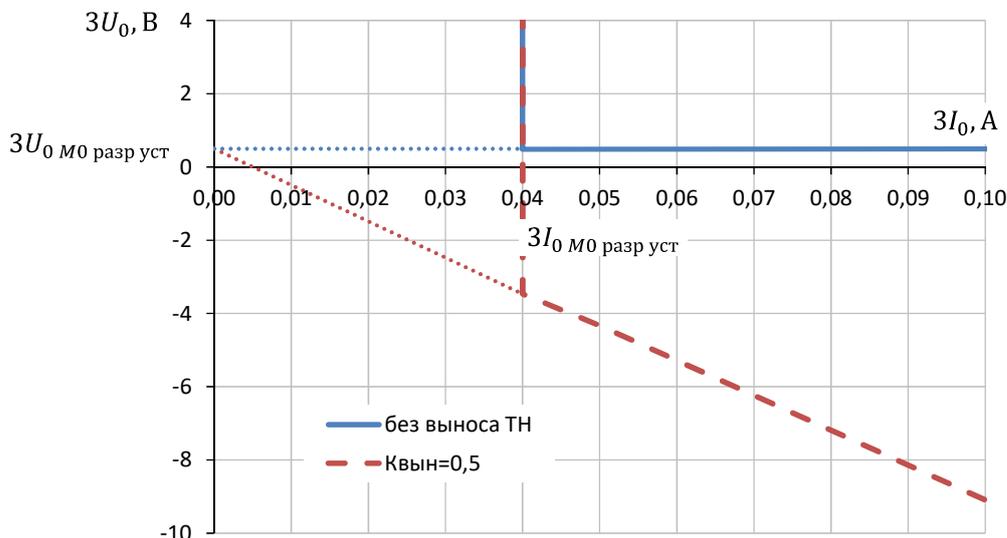


Рис. 9 – ВАХ ИО  $M_0$  разр при  $3I_{0 M_0 \text{ разр уст}} = 0,04 \text{ A}$ ,  $3U_{0 M_0 \text{ разр уст}} = 0,5 \text{ В}$

### 5.1.3 ПО с пуском по току ОП и торможением по току ПП ( $I_{2T}$ ) НВЧЗ и ВЧБ

ПО с пуском по току ОП и торможением по току ПП используются в НВЧЗ и ВЧБ 110-220 кВ. ПО  $I_{2T \text{ пуск}}$  используется для пуска узла БК в НВЧЗ и ВЧБ 110-220 кВ, работающих в режиме совместимости с их полупроводниковыми и/или электромеханическими аналогами. ПО  $I_{2T \text{ от}}$  используется в НВЧЗ 110-220 кВ для действия на отключение при нехватке чувствительности по напряжению ОП на длинных ВЛ, питающихся от мощных подстанций. Действие ИО  $I_{2T \text{ от}}$  на отключение (рисунок 10) разрешается только при несрабатывании ПО  $U_{2 \text{ от}}$ .

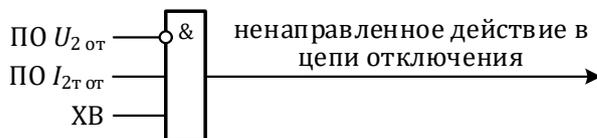


Рис. 10 – Упрощенная логика действия ИО  $I_{2T \text{ от}}$  НВЧЗ 110-220 кВ в цепи отключения

Пороги срабатывания  $I_{2T \text{ порог}}$  указанных органов вычисляются по формуле:

$$I_{2T \text{ порог}} = \max(I_{2T \text{ уст}}, k_{T \text{ уст}} (I_1 - I_{\text{ном}}) + I_{2T \text{ уст}}), \quad (3)$$

где  $I_{2T \text{ уст}}$  – уставка горизонтального участка торможения ПО  $I_{2T \text{ пуск}}$  НВЧЗ и ВЧБ или уставка  $I_{2T \text{ от}}$  НВЧЗ;

$k_{T \text{ уст}}$  – уставка по коэффициенту торможения;

$I_1$  – модуль тока ПП на зажимах устройства;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток устройства.

Характеристика торможения ПО  $I_{2T \text{ пуск}}$  и  $I_{2T \text{ от}}$  в общем виде показана на рисунке 11.

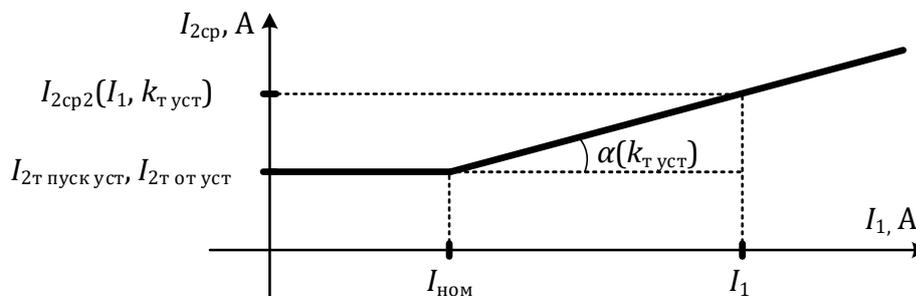


Рис. 11 – Характеристика торможения ПО  $I_{2г\text{ пуск уст}}$  и ПО  $I_{2г\text{ от уст}}$

### 5.1.4 ПО с пуском по приращению вектора тока (DI)

Чувствительные ПО с пуском по приращению векторов тока ПП и ОП используются для пуска узла БК в НВЧЗ и ВЧБ 110-220 кВ и для пуска ВЧ в ДФЗ 110-750 кВ и НВЧЗ 110-220 кВ. Грубые ПО с пуском по приращению векторов тока ПП и ОП используются для действия на отключение в ДФЗ 110-750 кВ и НВЧЗ 110-220 кВ.

Структурная схема ПО  $DI_1$  и  $DI_2$  [5] показана на рисунке 12. По цифровым отсчетам трехфазного тока с помощью ФТПП и частотно компенсированного ФТОП вычисляются вектора токов ПП  $\dot{k}i_1$  и ОП  $\dot{k}i_2$  соответственно. В блоках инерционной цепи «ИЦ» путем сохранения в кольцевом буфере размерностью  $t_{иц}$  производится замедление сигналов цифровых отсчетов векторов токов, которые затем со знаком минус суммируются в сумматорах « $\Sigma_j$ » с текущими сигналами цифровых отсчетов соответствующих векторов. Полученные на выходах сумматоров вектора  $\Delta\dot{k}i_1$  и  $\Delta\dot{k}i_2$  анализируются по модулю в блоках « $|\dot{i}_1| \geq I_{1\text{ уст}}$ » и « $|\dot{i}_2| \geq I_{2\text{ уст}}$ » соответственно. При отклонении частоты трехфазного тока от промышленной вычисленные на ФТПП и ФТОП вектора начинают вращаться с частотой скольжения, в результате на выходах сумматоров появляются разностные величины, вызванные фазовым сдвигом между задержанными  $\dot{k}i_1(t)$  и  $\dot{k}i_2(t)$  и текущими  $\dot{k}i_1$  и  $\dot{k}i_2$  соответственно. Для коррекции этого фазового сдвига используется детектор частоты тока ПП « $f_j$ ».

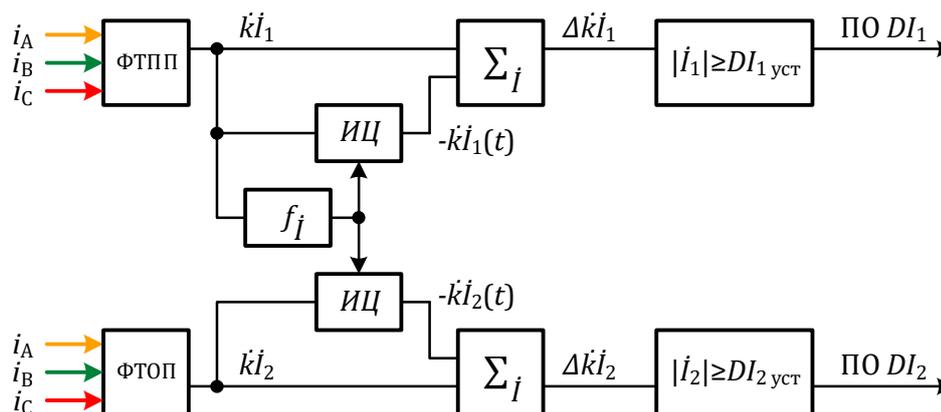


Рис. 12 – Структурная схема ПО  $DI_1$  и  $DI_2$

### 5.1.5 ИО сопротивления

#### 5.1.5.1 Общие сведения об ИО сопротивления

Для выявления симметричных повреждений на линии и за ее пределами в составе органов ДФЗ используются междуфазные ИО сопротивления, действующие на отключение, которые включаются на разность

фазных токов линии ( $I_{AB} = I_A - I_B$ ,  $I_{BC} = I_B - I_C$ ,  $I_{CA} = I_C - I_A$ ) и соответствующие им междуфазные напряжения ( $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ ).

Реактивное и активное сопротивление  $R$  и  $X = \omega \cdot L$  в схеме замещения ПП соответствующей петли междуфазного замыкания рассчитывается на основе решения дифференциального уравнения линии:

$$u_{\phi 1} - u_{\phi 2} = L \left( \frac{di_{\phi 1}}{dt} - \frac{di_{\phi 2}}{dt} \right) + R(i_{\phi 1} - i_{\phi 2}), \quad (4)$$

где  $u_{\phi}$  и  $i_{\phi}$  – мгновенные значения фазного напряжения и тока линии на аналоговых входах устройства.

Для установившегося режима, при частоте сигналов, равной номинальной, взаимосвязь между векторными значениями междуфазного напряжения и тока соответствует выражению:

$$\dot{U}_{\phi 1 \phi 2} = R \cdot \dot{I}_{\phi 1 \phi 2} + j \cdot X \cdot \dot{I}_{\phi 1 \phi 2}. \quad (5)$$

С целью упрощения вычислений, введём обозначения для действительной и мнимой составляющей векторов напряжения и тока в соответствии с системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\phi 1 \phi 2} = a + jb, \\ \dot{I}_{\phi 1 \phi 2} = c + jd. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда выражение (5) примет вид системы из двух уравнений для активной и реактивной составляющих:

$$\begin{cases} R = \frac{bd + ac}{c^2 + d^2}, \\ X = \frac{bc - ad}{c^2 + d^2}. \end{cases} \quad (7)$$

В установившемся режиме решению дифференциального уравнения линии (4) соответствует вычисление дистанционных замеров согласно формулам:

$$\begin{cases} Z = \frac{\dot{U}_{\phi 1 \phi 2}}{\dot{I}_{\phi 1 \phi 2}}, \\ R = \operatorname{Re}(Z), \\ X = \operatorname{Im}(Z). \end{cases} \quad (8)$$

#### 5.1.5.2 ИО сопротивления ДФЗ и НВЧЗ с охватом, действующие на отключение (Z охв от)

Характеристика срабатывания ИО изображена на рисунке 13.

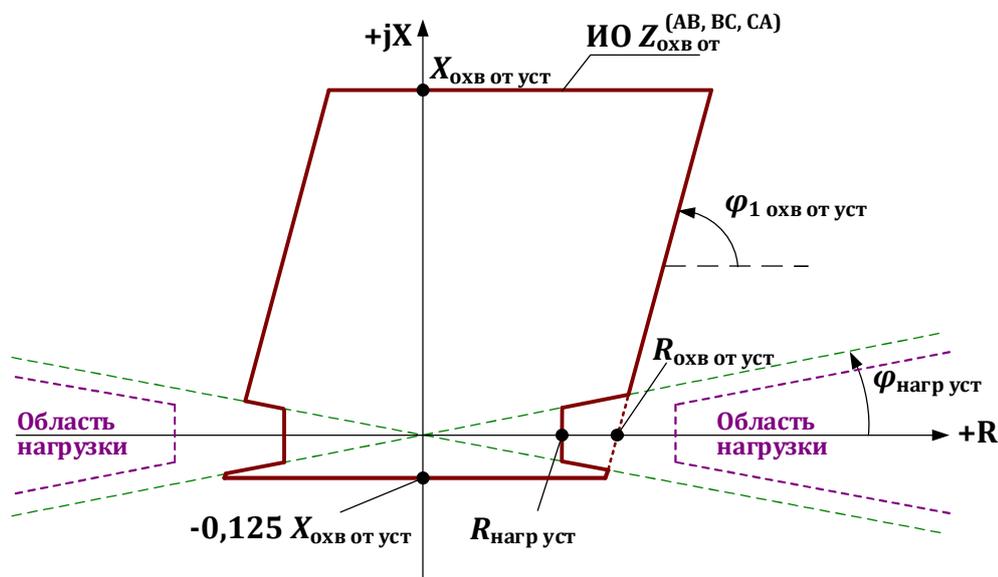


Рис. 13 – Характеристика срабатывания отключающих ИО сопротивления с охватом ДФЗ и отключающих при включении выключателя ИО сопротивления с охватом НВЧЗ 110-220 кВ

В ИО имеется возможность исключения области, соответствующей нагрузочным режимам. Эта область определяется двумя уставками: активным сопротивлением нагрузки  $R_{нагр\ уст}$  и углом нагрузки  $\varphi_{нагр\ уст}$ . Исключаемая область симметрична относительно начала координат.

Без учета выреза нагрузки срабатывание ИО сопротивления, действующего на отключение, происходит при выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} |X| \leq X_{охв\ от\ уст} , \\ \left| R - \frac{X}{\tan \varphi_{1\ охв\ от\ уст}} \right| \leq R_{охв\ от\ уст} , \\ X \geq -0,125 \cdot X_{охв\ от\ уст} , \end{cases} \quad (9)$$

где  $R$  и  $X$  – вычисленные при решении дифференциального уравнения (4) активная и реактивная составляющие сопротивления на входе устройства;

$R_{охв\ от\ уст}$  – уставка по активной составляющей сопротивления ИО  $Z_{охв\ от}$ ;

$X_{охв\ от\ уст}$  – уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО  $Z_{охв\ от}$ ;

$\varphi_{1\ охв\ от\ уст}$  – уставка по углу наклона характеристики ИО  $Z_{охв\ от}$ .

На рисунке 14 показана логика действия ИО в цепи отключения ДФЗ 110-750 кВ.

Действие ИО сопротивления в цепи отключения вводится на ограниченное время и с контролем срабатывания от ПО тока ОП либо ПО приращения вектора тока ОП, кратковременно срабатывающих при первичной несимметрии развивающихся симметричных КЗ. Для контроля повреждений без первичной несимметрии применяются ПО по разности фазных токов и ПО по приращению вектора тока ПП.

В ДФЗ на 110-220 кВ опционально вводится контроль от ПО по току НП.

В ДФЗ на 330-750 кВ опционально вводится контроль от ПО по напряжению ОП.

При возникновении неисправности в цепях напряжения цепи отключения ДФЗ переключается с ИО  $Z_{охв\ от}$  на ПО  $I_{л\ бл}$ .

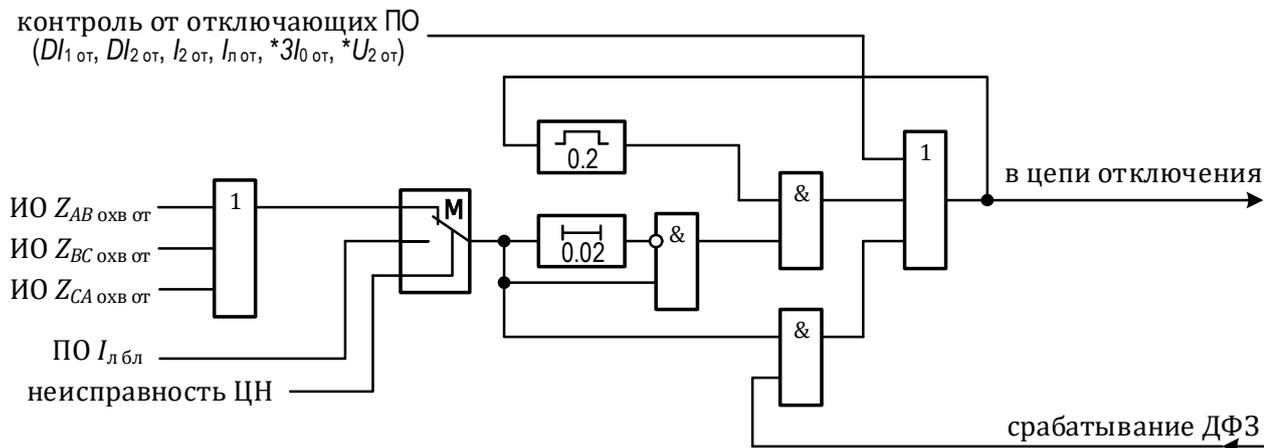


Рис. 14 – Упрощенная логика действия ИО  $Z_{OXB\_OT}$  ДФЗ 110-750 кВ в цепи отключения (\* - наличие ПО зависит от программного обеспечения)

В НВЧЗ на 110-220 кВ ИО  $Z_{OXB\_OT}$  действует в логику по схеме "ИЛИ" с органами контроля повреждений на ответвлении и используется при ТАПВ и ОЛ на близкие междуфазные или симметричные КЗ. Суммарная область срабатывания при ТАПВ и ОЛ показана на рисунке 20.

### 5.1.5.3 ИО сопротивления НВЧЗ и ВЧБ, действующие на отключение ( $Z_{от}$ ) и ИО сопротивления ДФЗ и НВЧЗ выявления повреждений на ответвлении ( $Z_{отв}$ )

Характеристика срабатывания ИО изображена на рисунке 15.

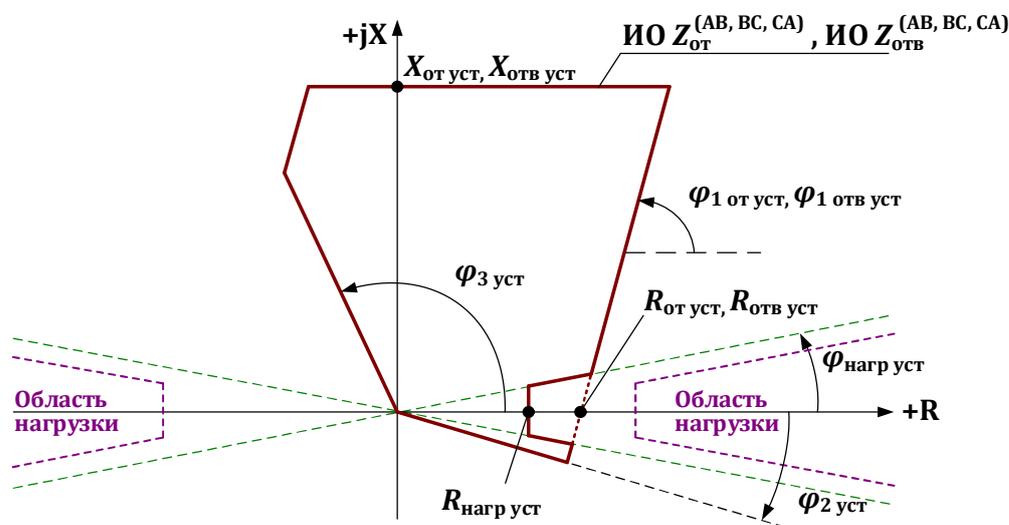


Рис. 15 – Характеристика срабатывания отключающих ИО сопротивления НВЧЗ и ВЧБ и ИО сопротивления выявления повреждений на ответвлении НВЧЗ 110-220 кВ

В ИО имеется возможность исключения области, соответствующей нагрузочным режимам. Эта область определяется двумя уставками: активным сопротивлением нагрузки  $R_{нагр\_уст}$  и углом нагрузки  $\varphi_{нагр\_уст}$ . Исключаемая область симметрична относительно начала координат.

Без учета выреза нагрузки срабатывание ИО  $Z_{от}$  и ИО  $Z_{отв}$  происходит при выполнении следующих условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} |X| \leq X_{\text{от уст}}(X_{\text{отв уст}}), \\ \left| R - \frac{X}{\tan \varphi_{1 \text{ от уст}}(\varphi_{1 \text{ отв уст}})} \right| \leq R_{\text{от уст}}(R_{\text{отв уст}}), \\ X - R \cdot \tan \varphi_{2 \text{ уст}} \geq 0, \\ \frac{X}{\tan \varphi_{3 \text{ уст}}} - R \leq 0, \end{array} \right. \quad (10)$$

где  $R$  и  $X$  – вычисленные при решении дифференциального уравнения (4) активная и реактивная составляющие сопротивления на входе устройства;

$R_{\text{от уст}}$  – уставка по активной составляющей сопротивления ИО  $Z_{\text{от}}$ ;

$R_{\text{отв уст}}$  – уставка по активной составляющей сопротивления ИО  $Z_{\text{отв}}$ ;

$X_{\text{от уст}}$  – уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО  $Z_{\text{от}}$ ;

$X_{\text{отв уст}}$  – уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО  $Z_{\text{отв}}$ ;

$\varphi_{1 \text{ от уст}}$  – уставка по углу наклона характеристик ИО  $Z_{\text{от}}$ ;

$\varphi_{1 \text{ отв уст}}$  – уставка по углу наклона характеристик ИО  $Z_{\text{отв}}$ ;

$\varphi_{2 \text{ уст}}$  – уставка по углу наклона характеристики ИО  $Z_{\text{от}}$  и ИО  $Z_{\text{отв}}$  в IV квадранте;

$\varphi_{3 \text{ уст}}$  – уставка по углу наклона характеристики ИО  $Z_{\text{от}}$  и ИО  $Z_{\text{отв}}$  во II квадранте.

**Примечание** – Углы  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$  существуют на плоскости мощности ПП, направление вектора которого без учета влияния ЭДС удаленного конца ВЛ будет совпадать с направлением вектора  $Z_{\varphi_1 \varphi_2}$ .

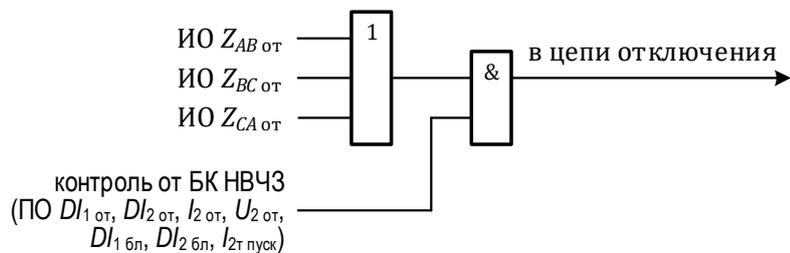
На рисунке 16 показана логика действия ИО в цепи отключения НВЧЗ 110-220 кВ, НВЧЗ 330-750 кВ и ВЧБ.

В НВЧЗ 110-220 кВ и ВЧБ действие ИО сопротивления в цепи отключения вводится с контролем от локальной логики БК, которое формируется либо от ПО тока, либо от ПО приращения вектора тока ОП, кратковременно срабатывающих при первичной несимметрии развивающихся симметричных КЗ. Для контроля повреждений без первичной несимметрии применяются ПО по разности фазных токов и ПО по приращению вектора тока ПП. В НВЧЗ ПО тока и приращения вектора тока ОП дополнительно контролируются от ПО по напряжению ОП.

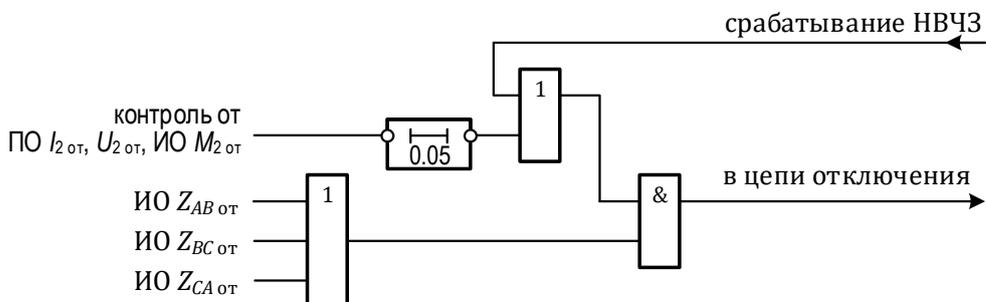
В НВЧЗ 330-750 кВ в качестве логики БК используется продленный на фиксированное время сигнал срабатывания ПО по току и напряжению ОП вместе с ИО мощности ОП, с подхватом при срабатывании НВЧЗ.

В ВЧБ есть дополнительная опция блокирования ИО сопротивления при срабатывании ПО по току и напряжению НП и ИО направления мощности НП.

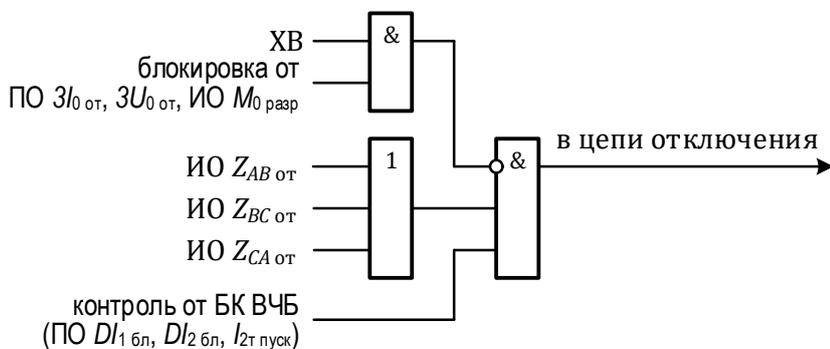
При возникновении неисправности в цепях напряжения НВЧЗ и ВЧБ опционально пускают ВЧ сигнал, блокирующий оба полукомплекта.



а) НВЧ3 110-220 кВ



б) НВЧ3 330-750 кВ



в) ВЧБ

Рис. 16 – Упрощенная логика действия ИО  $Z_{от}$  в цепи отключения

#### 5.1.5.4 ИО сопротивления НВЧ3 с охватом, действующее на блокировку (Z охв бл)

Характеристика срабатывания ИО изображена на рисунке 17.

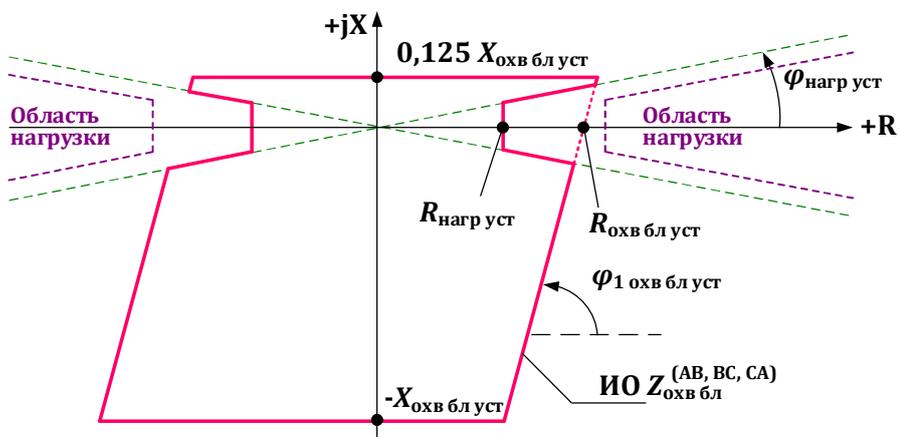


Рис. 17 – Характеристика срабатывания блокирующего ИО сопротивления НВЧ3

В ИО имеется возможность исключения области, соответствующей нагрузочным режимам. Эта область определяется двумя уставками: активным сопротивлением нагрузки  $R_{нагр\ уст}$  и углом нагрузки  $\varphi_{нагр\ уст}$ . Исключаемая область симметрична относительно начала координат.

Без учета выреза нагрузки срабатывание ИО  $Z_{охв\ бл}$  происходит при выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} |X| \leq X_{охв\ бл\ уст}, \\ \left| R - \frac{X}{\tan \varphi_{1\ охв\ бл\ уст}} \right| \leq R_{охв\ бл\ уст}, \\ X \leq 0,0625 \cdot X_{охв\ бл\ уст}, \end{cases} \quad (11)$$

где  $R$  и  $X$  – вычисленные при решении дифференциального уравнения (4) активная и реактивная составляющие сопротивления на входе устройства;

$R_{охв\ бл\ уст}$  – уставка по активной составляющей сопротивления ИО  $Z_{охв\ бл}$ ;

$X_{охв\ бл\ уст}$  – уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО  $Z_{охв\ бл}$ ;

$\varphi_{1\ охв\ бл\ уст}$  – уставка по углу наклона характеристик ИО  $Z_{охв\ бл}$ .

Согласование зон срабатывания по концам линии предполагает охват конца зоны отключающего ИО удаленного п/к зоной блокирующего ИО своего п/к (рис. 18).

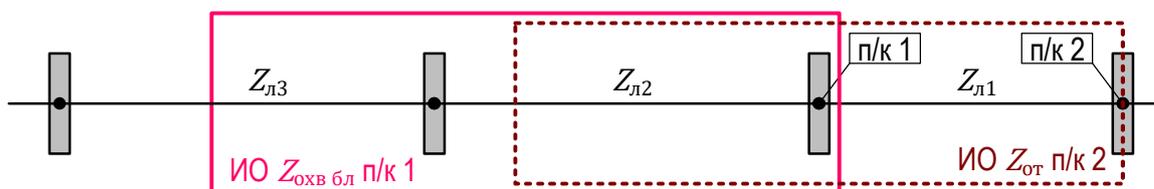


Рис. 18 – Схематичное изображение согласования зон срабатывания ИО Z по концам ВЛ

На рисунке 19 показана логика действия блокирующих ИО сопротивления в цепи пуска ВЧ НВЧЗ 110-220 кВ и НВЧЗ 330-750 кВ.

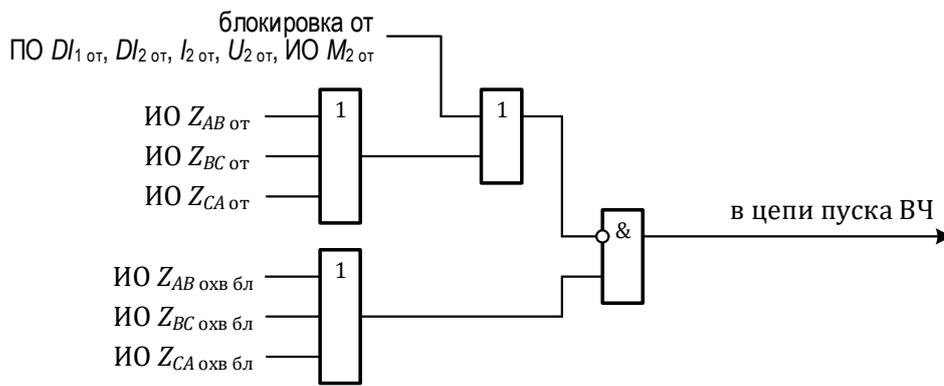
При одновременном срабатывании ИО  $Z_{от}$  и ИО  $Z_{охв\ бл}$  приоритет в логике отдается ИО  $Z_{от}$ , то есть при нахождении годографа сопротивления в общей области пересечения характеристик (рисунки 15 и 17) происходит действие в цепи отключения.

В НВЧЗ 330-750 кВ действие обоих ИО контролируется соответствующими ИО мощности по ОП, кратковременно срабатывающими при первичной несимметрии развивающихся симметричных КЗ и продленные на ограниченное время, достаточное для срабатывания НВЧЗ. Контроль отключающих ИО сопротивления от ИО мощности по ОП подхватывается при срабатывании НВЧЗ, пока симметричное повреждение не будет отключено.

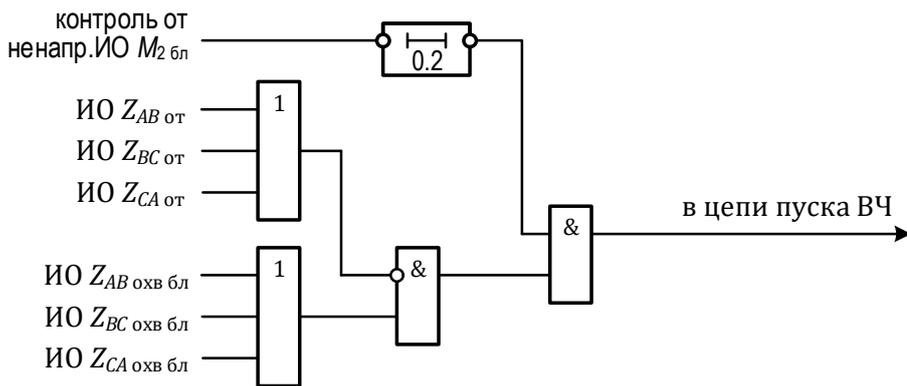
**Примечание** – Контроль ИО сопротивления от ИО направления мощности ОП обеспечивает неизменность принципа действия НВЧЗ (всегда по мощности ОП) при симметричных КЗ и дополнительно производится отстройка от режима качаний. При ТАПВ и ОЛ на трехфазную закоротку, когда разновременность включения фаз выключателя недостаточна для срабатывания ИО мощности по ОП, применяется отдельная логика при опробовании.

При возникновении неисправности в цепях напряжения:

- НВЧЗ 110-220 кВ опционально пускает ВЧ сигнал, блокирующий оба полукомплекта.
- НВЧЗ 330-750 кВ опционально пускает ВЧ сигнал, блокирующий оба полукомплекта, либо запускается обмен ВЧ командами перевода в режим ДФЗ.



а) НВЧ 110-220 кВ



б) НВЧ 330-750 кВ

Рис. 19 – Упрощенная логика действия ИО  $Z_{охв бл}$  в цепи пуска ВЧ

На рисунке 20 на плоскости сопротивлений показана область срабатывания ИО Z НВЧ 110-220 кВ при ТАПВ и ОЛ на близкие междуфазные или симметричные КЗ. Описание ИО  $Z_{охв от}$  приведено в п. 5.1.5.2.

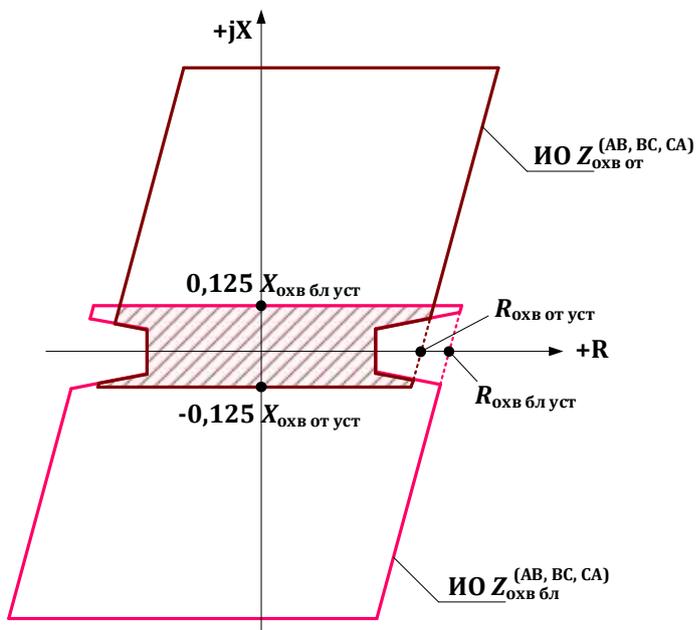


Рис. 20 – Область действия (заштрихована) на отключение ИО сопротивления НВЧ 110-220 кВ при ТАПВ и ОЛ на близкие междуфазные или симметричные КЗ

### 5.1.5.5 Учет активного переходного сопротивления

В установившемся режиме активная составляющая замера сопротивления при двухфазном или трехфазном КЗ на линии с двухсторонним питанием определяется исходя из расчетных активных сопротивлений линии до места КЗ и переходного сопротивления в месте КЗ:

$$R_{\text{КЗ изм}} = r_{1 \text{ уст}} \cdot L_{\text{КЗ}} + R_{\text{п ф}} \cdot \left( 1 + \frac{I_{\text{мф}}^{\text{удал}}}{I_{\text{мф}}^{\text{свой}}} \right), \quad (12)$$

где  $r_{1 \text{ уст}}$  – уставка по удельному активному сопротивлению линии по ПП;

$L_{\text{КЗ}}$  – расстояние до места КЗ;

$R_{\text{п ф}}$  – активное фазное переходное сопротивление в месте КЗ (Ом на фазу);

$I_{\text{мф}}^{\text{удал}}$  – модуль междуфазного тока при двухфазном или трехфазном КЗ через переходное сопротивление на удаленном конце линии, измеренный на удаленном конце линии;

$I_{\text{мф}}^{\text{свой}}$  – модуль междуфазного тока при двухфазном или трехфазном КЗ через переходное сопротивление на удаленном конце линии, измеренный на своем конце линии.

При моделировании двухфазных и трехфазных КЗ активное фазное переходное сопротивление в месте КЗ принимается одинаковым в каждой из поврежденных фаз (см рисунок 21 а и 21 б):  $R_{\text{п А}} = R_{\text{п В}} = R_{\text{п С}} = R_{\text{п ф}}$ . Тогда активное междуфазное сопротивление дуги при двухфазном КЗ будет равно:  $R_{\text{д}}^{(2)} = 2R_{\text{п ф}}$ . А активное междуфазное сопротивление дуги при трехфазном КЗ после преобразования схемы «звезда» в схему «треугольник» (см рисунок 21 в) будет равно:  $R_{\text{д}}^{(3)} = R_{\text{п АВ}} = R_{\text{п ВС}} = R_{\text{п СА}} = 3R_{\text{п ф}}$ .

Таким образом, активное фазное переходное сопротивление в месте двухфазного и трехфазного КЗ будут равны:

$$\begin{cases} R_{\text{п ф}}^{(2)} = \frac{1}{2} R_{\text{д}}^{(2)} \\ R_{\text{п ф}}^{(3)} = \frac{1}{3} R_{\text{д}}^{(3)}, \\ R_{\text{п ф}}^{(2)} = R_{\text{п ф}}^{(3)} \end{cases} \quad (13)$$

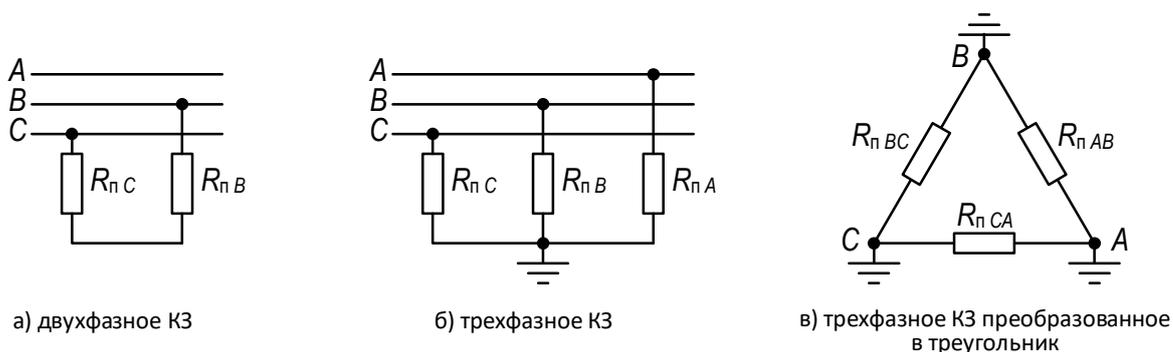


Рис. 21 – Схемы моделирования междуфазных КЗ с переходными сопротивлениями

где  $R_{\text{д}}^{(2)}$ ,  $R_{\text{д}}^{(3)}$  – сопротивление междуфазной эклектической дуги при двухфазном и трехфазном КЗ соответственно.

Пр и м е ч а н и е – Сопротивление электрической дуги принимается чисто активным.

Если принять градиент напряжения дуги слабо зависящим от тока при больших его значениях [9, формула 1.15], то значение сопротивления дуги может быть рассчитано по формуле:

$$R_{д\ макс} \approx \frac{U_{д\ уд} \cdot l_{д\ макс}}{I_{д\ мин}}, \quad (14)$$

где  $U_{д\ уд}$  – действующее значение удельного напряжения дуги, принимается равным 1050 В/м согласно модели дуги В.В. Бургсдорфа;

Примечание – Также известны значения  $U_{д\ уд}$ : 2500 В/м – по модели Необауэра, 1444 В/м – по модели Вестингхауса, а также зависящее от тока значение по модели Варрингтона. Минимальные значения сопротивления дуги получаются при расчете по модели Варрингтона, а максимальные – по модели Необауэра.

$l_{д\ макс}$  – максимальная длина дуги при междуфазном КЗ с учетом ее раздувания за время действия защиты;

$I_{д\ мин}$  – действующее значение минимального тока дуги, принимается равным суммарному фазному току в месте металлического двухфазного или трехфазного КЗ на удаленном конце линии в минимальных режимах примыкающих энергосистем.

С учетом принятого постоянства тока и удельного напряжения дуги, принимаем сопротивление дуги линейно зависящим от ее длины. В начальный момент времени длина дуги принимается равной расстоянию  $d$  между проводами фаз на преобладающем типе промежуточных опор на ВЛ. Затем по мере раздувания под действием ветра, конвекции воздуха и электродинамических усилий в самой дуге ее длина резко возрастает.

Согласно графику зависимости сопротивления от времени горения дуги (рисунок 22) в первые 4 периода горения сопротивление практически не меняется. Таким образом, для быстродействующих защит с временами срабатывания до 80 мс может быть принято с запасом  $l_{д\ макс} \approx 1,3 d$ . Так как ИО сопротивления в канале отключения основных защит рассчитано на действие в течение максимум 200 мс, максимальное значение длины дуги  $l_{д\ макс}$  рекомендуется брать в диапазоне от 1,3 до 3,0  $d$ .

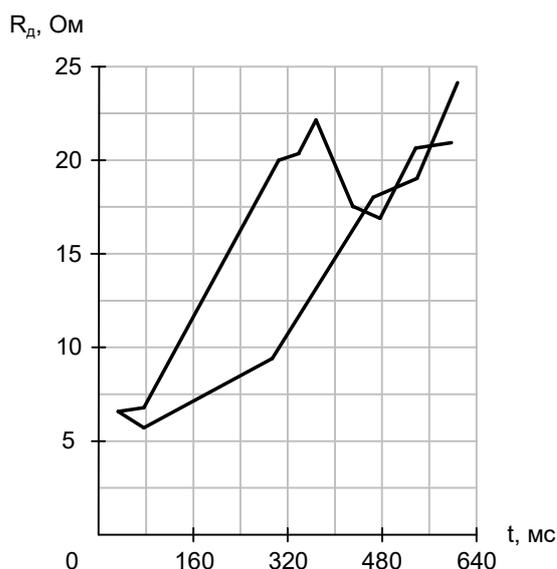


Рис. 22 – Зависимость сопротивления дуги от времени ее горения из литературы [9, рисунок 1.21]

## 5.1.6 Орган манипуляции ДФЗ и НДЗ (ОМ)

### 5.1.6.1 Принцип действия ОМ

Орган манипуляции (ОМ) обоих полуккомплектов «вырезает» в пускаемом ВЧ сигнале паузы, соответствующие положительной полуволне тока  $i_{КФ}$  комбинированного фильтра токов, который рассчитывается устройством по формуле:

$$i_{КФ} = \frac{i_1}{k} + i_2 - i_{ДС \text{ порог}}, \quad (15)$$

где  $k$  – коэффициент комбинированного фильтра токов;

$i_2$  и  $i_1$  – мгновенные значения токов линии по ОП и ПП, вычисленные для ВЧ-обработанной фазы с циклическим сдвигом  $120^\circ$  по часовой стрелке;

$i_{ДС \text{ порог}}$  – мгновенное значение постоянного тока порога срабатывания ОМ.

**П р и м е ч а н и е** – Введение доли тока ПП в ток фильтра позволяет ДФЗ работать при симметричных КЗ, но ухудшает чувствительность при внутренних и селективность при внешних несимметричных КЗ.

**П р и м е ч а н и е** – Аналоговая величина **[001020]  $I_{кф}$**  доступна для осциллографирования путем настройки пункта меню **[161915] Маска осциллографирования аналоговых сигналов**.

Пуск ОМ во внутренней логике терминала производится при помощи формирования сигнала **[103001] Разр. ОМ** на функциональной логической схеме. ОМ управляет оптронным выходом **[102008] Пуск ВЧ передатчика** без аппаратных и программных задержек и без привязки к конечной частоте дискретизации устройства. В осциллографе и регистраторе сигнал **[102008] Пуск ВЧ передатчика** записывается уже приведенным к частоте дискретизации устройства.

В идеальных условиях при внешних КЗ в точках К1 и К3 (рисунок 1) вектора токов  $I_{КФ}$  по концам линии повернуты на  $180^\circ$ , поэтому сигналы двух полуккомплектов сдвинуты друг относительно друга на половину периода промышленной частоты, а суммарный сигнал при этом получается сплошной. При внутренних КЗ (точка К2) токи по концам линии синфазны, ВЧ сигналы накладываются друг на друга и в суммарном ВЧ сигнале образуются паузы, равные полупериоду промышленной частоты.

В реальных условиях при внешних КЗ, даже с учетом компенсации емкостных токов, угол между векторами токов  $I_{КФ}$  может значительно отклоняться от  $180^\circ$ . На это влияет величина коэффициента комбинированного фильтра токов, нагрузочные токи, небалансы в токе и напряжении, переходные сопротивления при многофазных КЗ и т.д. Также значительными могут быть отклонения самих ВЧ сигналов, вызванные несовершенством ВЧ оборудования и способом передачи сигнала. Поэтому для повышения селективности ДФЗ ток  $i_{КФ}$  смещают на величину порога срабатывания ОМ, тем самым обеспечивая недоформированность прямоугольного сигнала управления передатчиком, при которой ширина импульсов больше ширины пауз на время  $t_{нф}$  (см рисунок 23).

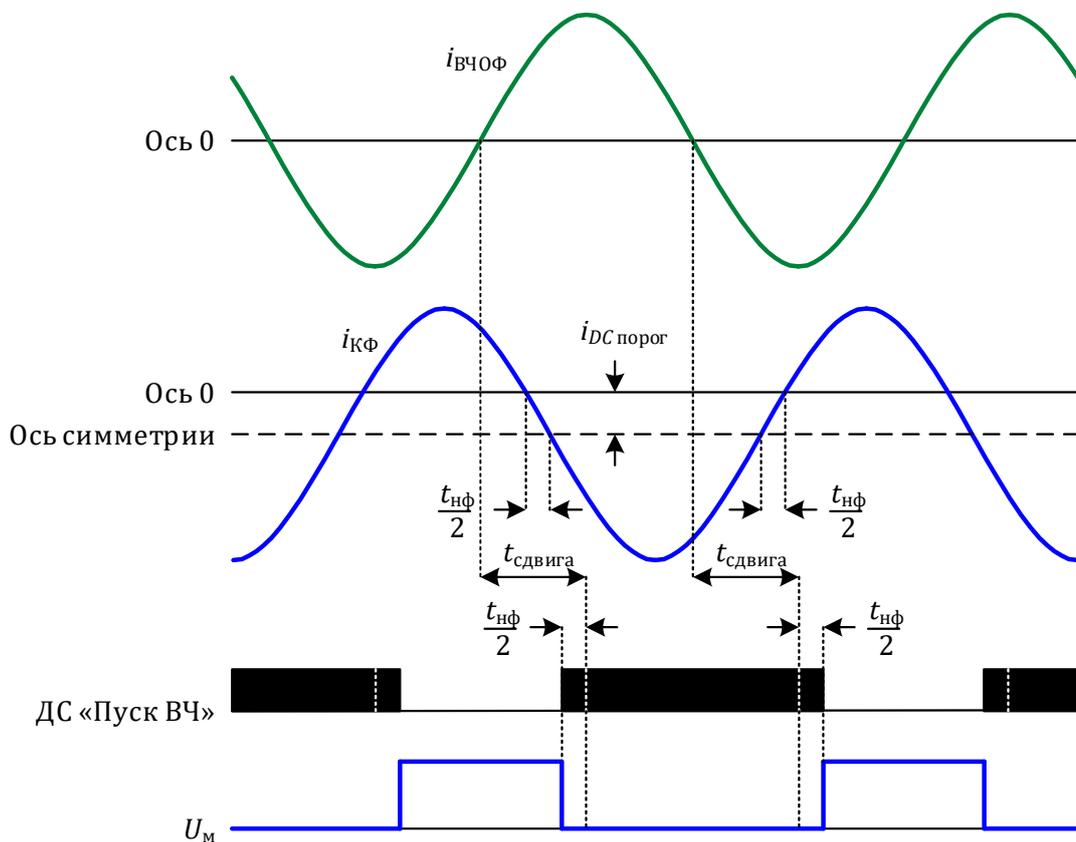


Рис. 23 – Временная диаграмма формирования напряжения манипуляции  $U_M$

Примечание – Напряжение  $U_M$  измеряется на контактах выходного реле терминала между зажимами «адрес 11» и «адрес 12».

Время недоформированности  $t_{нф}$  находится в пределах  $10 \pm 5\%$  относительно длительности полупериода промышленной частоты при токе  $I_{КФ}$ , равном уставке чувствительного ПО по току обратной последовательности:

- для линий без тяговой нагрузки –  $I_2 \text{ бл уст}$ , согласно п.5.2.1.1.,
- для линий с тяговой нагрузкой –  $DI_2 \text{ бл уст}$ , согласно п.5.2.3.1.

Выходное реле терминала, отвечающее за пуск ВЧ сигнала шунтирует соответствующий вход на приемопередатчике, поэтому при пуске ВЧ (импульс) напряжение манипуляции  $U_M$  имеет низкий уровень (рисунок 23).

Для обеспечения помехоустойчивости выходной сигнал пуска ВЧ передатчика сдвигается на время  $t_{сдвига}$ , которое соответствует повороту вектора  $\dot{I}_{КФ}$  в сторону опережения на угол  $90^\circ$  по отношению к вектору тока ВЧ-обработанной фазы  $\dot{I}_{ВЧ0Ф}$ . На линиях СВН такой сдвиг обеспечивает попадание пакета максимальных помех от коронного разряда в ВЧ импульс, а не паузу [6]. Это актуально для приемопередатчиков с пуском ВЧ от управляющего сигнала без задержек, однако большинство современных приемопередатчиков, как правило, имеют функцию задержки. Для учета положения помех при использовании современных приемопередатчиков с функцией регулируемой задержки пуска ВЧ сигнала, необходимо дополнительно учитывать это время задержки.

Примечание – ВЧ помеха в ВЧ-обработанной фазе имеет максимальную амплитуду (максимальная помеха) при условии, что ВЧ-обработанная фаза является средней по отношению к двум другим фазам, и в ней нет повреждения, т.е. уровень напряжения в ней высокий [6].

### 5.1.6.2 Совместная работы с защитами старого образца и других производителей

**Статический режим.** Ввиду различия исполнений комбинированных фильтров фазовый сдвиг вектора напряжения манипуляции  $U_m$  на выходе фильтра относительно вектора тока фазы А подаваемого на его вход значительно отличаются у различных поколений устройств ДФЗ. На рисунке 24 показаны вектора напряжений манипуляции у наиболее распространенных электромеханических панелей ДФЗ и микропроцессорной защиты ДФЗ ШЭ2607 с отключенным режимом совместимости.

**Примечание** – Методики снятия углов манипуляции ЭМ панелей указаны в методических указаниях по проверке и наладке этих панелей.

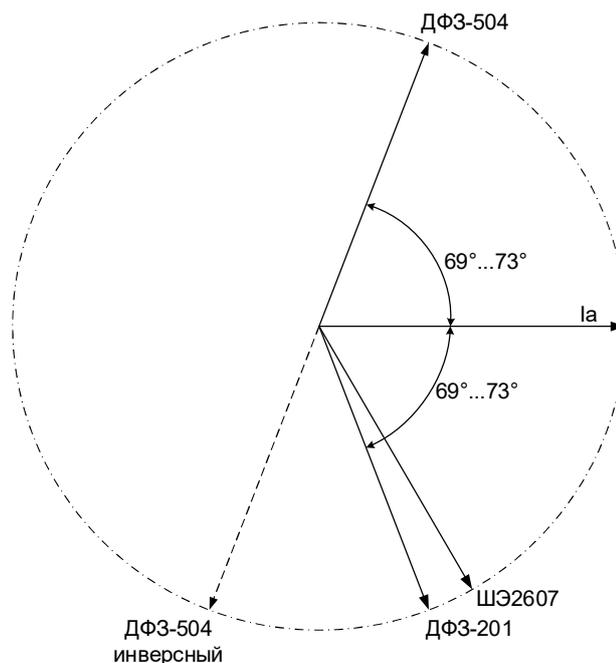


Рис. 24 – Углы векторов напряжения манипуляции  $U_m$  относительно вектора тока фазы А у микропроцессорного устройства ШЭ2607 (не в режиме совместимости) и электромеханических панелей ДФЗ

**Примечание** – Следует иметь в виду, что для МП устройства напряжение манипуляции измерялось с учетом порогового органа, в отличие от ЭМ панелей, где напряжение манипуляции присутствует в виде синусоидальной величины.

**Динамический режим.** Из-за разнообразного характера переходных процессов в токе  $i_{кф}$  периодичность ВЧ сигнала ОМ может нарушиться. Правильное действие ДФЗ в таких режимах обеспечивается за счет разной полярности переходных процессов в двух полуконтактах по концам линии. Опасность излишней работы ДФЗ на отключение возникает при аperiodическом переходном процессе положительной полярности, который формирует паузу в ВЧ сигнале.

#### Примечания

1. Переходный процесс положительной полярности, в зависимости от угла включения, может появиться также при внешних КЗ и в момент включения отключенной в цикле ОАПВ фазы с устранившимся КЗ.

2. В устаревших приемопередатчиках ПВЗ-К (реализованных на основе электронных ламп) по положительной полуволне напряжения манипуляции производится генерация ВЧ импульса, а не паузы. Поэтому в режиме совместимости с ЭМ панелями, работающими через приемопередатчик ПВЗ-К, требуется инвертирование клемм в ЭМ панели, либо выставление соответствующей программной наклейки в МП терминале.

Для правильного функционирования защиты, эта пауза должна быть заполнена ВЧ пакетом от п/к с противоположного конца линии, где переходный процесс должен иметь отрицательную полярность. Эта закономерность с большой вероятностью не соблюдается в случае, когда ОМ двух комплектов неодинаковые, что характерно для защит разных производителей и разных поколений (электромеханические, полупроводниковые, микроэлектронные и микропроцессорные защиты).

Предусмотрен режим совместимости работы МП терминалов ДФЗ ШЭ2607 производства НПП «ЭКРА» со следующими типами защит:

- Микропроцессорный шкаф ДФЗ ШЭ2607 с версией ПО до 2хх включительно (с версией новее режим совместимости не требуется);
- Микропроцессорные шкафы ДФЗ других производителей согласно СТО 56947007-29.120.70.196-2014;
- Электромеханические панели ДФЗ-2 и ДФЗ-201;
- Электромеханическая панель ДФЗ-504.

Предусмотрен режим совместимости работы МП терминалов НДЗ ШЭ2710 производства НПП «ЭКРА» со следующими типами защит:

- Полупроводниковая панель ПДЭ-2003.

Для режима совместной работы, в уставках МП устройства требуется дополнительно переключить соответствующей программной накладкой режим работы ОМ. При этом полная идентичность органов манипуляции с электромеханическими и полупроводниковыми аналогами не гарантируется, в следствие чего, режим совместимости с этими панелями является **вынужденной временной мерой** и по возможности следует производить замену комплектов одновременно на двух концах линии. При работе с ЭМ в логике применяется вспомогательный узел блокировки, использующий **ПО по разности I<sub>кф</sub> МП и ЭМ**, реагирующий на неодинаковую работу математических моделей ОМ, применяемых в режиме совместимости и без него. Режим совместимости с МП защитами сторонних производителей и устаревшими версиями МП защит НПП «ЭКРА» предусматривает длительное использование.

**Примечание** – Программная накладка отвечающая за режим совместной работы с МП защитами производит изменение алгоритмов фильтров ОП тока и напряжения с частотно-компенсированных на классические, для которых коэффициент зависимости небаланса от частоты  $k_f = 0,75$ .

На рисунке 25 показана осциллограмма токов  $i_{кф}$  и дискретных сигналов пуска ВЧ устройством НДЗ ШЭ2710 и полупроводниковой панелью ПДЭ-2003. Оба устройства находились в режиме непрерывного сравнения фаз токов (режим ДФЗ). На оба устройства подавался один и тот же ток и напряжение. Из рисунка видны значительные отличия токов  $i_{кф}$  в переходном режиме включения от ОАПВ.

При использовании режима совместимости в электромеханических и полупроводниковых панелях необходимо выполнить ряд работ:

- в ДФЗ-201 и ДФЗ-504 в соответствии с циркуляром РАО «ЕЭС России» № Ц-04-94(Э) от 30.12.1994 г. «О предотвращении излишних действий защит ДФЗ линий 110-500 кВ при внешних КЗ», который предлагает устанавливать на панели ДФЗ дополнительный блок БФВКЦ. Блок БФВКЦ обеспечивает срабатывание ДФЗ без замедления при КЗ на защищаемой ВЛ и автоматический ввод замедления ДФЗ при внешнем КЗ. При совместной работе с версиями МП ДФЗ серии ШЭ2607 начиная с 2010 года, выполнение циркуляра **не обязательно**, так как в ШЭ2607 при работе в режиме совместимости

с ДФЗ-201 и ДФЗ-504 реализована функция пуска ВЧ импульса при обнаружении переходного процесса в токе комбинированного фильтра.

**П р и м е ч а н и е** – В отсутствии БФВКЦ быстродействие ДФЗ-201 и ДФЗ-504 может быть выше МП ДФЗ.

- в ДФЗ-201 и ДФЗ-504 зашунтировать трансформатор 1-ТН<sub>0</sub>, для вывода составляющей по НП в реле 1-1ПР и 1-2ПР, так как в шкафу ШЭ2607 нет ПО реагирующих на сумму  $|I_2| + k|3I_0|$ .
- в ПДЭ-2003 в соответствии с информационным письмом ЦДУ «ЕЭС России» № 88 от 12.08.99 «О повышении надежности работы ВЧ защиты типа ПДЭ-2003», в котором рекомендуется время задержки защиты на отключение в направленном режиме увеличить до 10 мс.

**П р и м е ч а н и е** – ПО по току НП в режиме совместимости МП шкафа с ЭМ панелью выводятся из работы в обоих п/к из-за сложности реализации в МП исполнении математической модели фильтра НП ЭМ панели. Следует также помнить, что ввод в работу ПО по НП влияет только на чувствительность пуска ОМ, но не на чувствительность самого ОМ (п. 5.2.9.3 и 5.2.9.4).

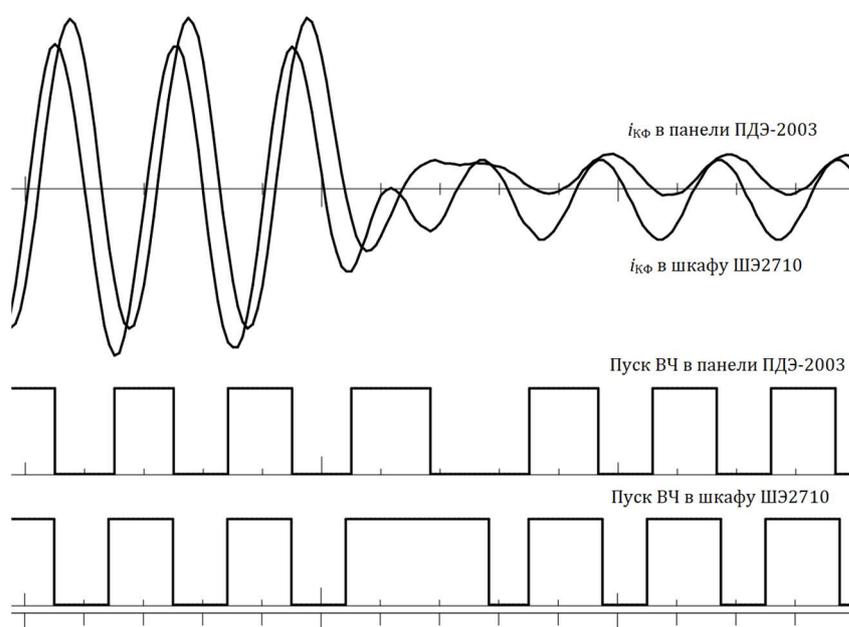


Рис. 25 – Сравнение работы ОМ при включении от ОАПВ панели ПДЭ-2003 и шкафа НДЗ серии ШЭ2710

## 5.1.7 Орган сравнения фаз ДФЗ и НДЗ (ОСФ)

### 5.1.7.1 Принцип действия ОСФ

Фазная характеристика срабатывания органа сравнения фаз (ОСФ) показана на рисунке 26. Характеристика определяется уставкой по углу блокировки  $\varphi_{\text{бл уст}}$ , которая соответствует минимальной длительности паузы в ВЧ сигнале при которой срабатывает ОСФ.

**П р и м е ч а н и е** – Границы зоны блокировки фиксируются по факту срабатывания ОСФ.

Осью симметрии характеристики является горизонтальная ось координат. Вектор тока комбинированного фильтра «чужого» (удаленного) полукомплекта  $I_{\text{КФ}}^{\text{чуж}}$  на характеристике располагается на горизонтальной оси (ноль градусов), это направление принимается за начало отсчета. Перед снятием фазной характеристики вектор «своего» (локального) полукомплекта  $I_{\text{КФ}}^{\text{св}}$  устанавливается в положение  $180^\circ$ , что соответствует «идеальному» внешнему КЗ. Поворот вектора в положительную или отрицательную ветви характеристики на угол больше уставки по углу

блокировки  $\varphi_{\text{бл уст}}$  плюс угол, соответствующий длительности недоформированности  $t_{\text{нф}}$  (см. раздел 5.1.4.1) приводит к срабатыванию ОСФ. Из-за недоформированности ВЧ сигнала значение  $\varphi_{\text{бл уст}}$  теоретически не может быть больше  $81^\circ$ , практически этот угол выбирается в промежутке от  $40$  до  $70^\circ$ .

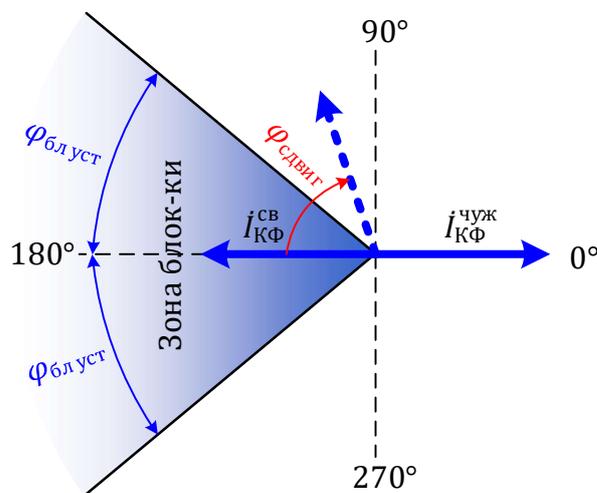


Рис. 26 – Фазная характеристика ОСФ в идеальных условиях

ОСФ построен на интегральном принципе. При паузах длительностью больше или равно четверти периода (с учетом недоформированности сигнала угол между токами по концам  $\leq 99^\circ$ ) ОСФ срабатывает в течение первой же паузы. Тогда как при длительностях пауз больше или равно  $\varphi_{\text{бл уст}}$ , но меньше четверти периода, скорость срабатывания ОСФ зависит от длительности пауз и кратно периоду промышленной частоты. Таким образом, чем больше угол сдвига вектора  $I_{\text{КФ}}^{\text{св}}$  относительно  $180^\circ$ , тем быстрее срабатывает ОСФ. И наоборот, чем меньше угол сдвига вектора  $I_{\text{КФ}}^{\text{св}}$  относительно  $180^\circ$ , тем быстрее возврат из сработанного состояния. При срабатывании ОСФ формируется сигнал **[103003] Выход ОСФ**.

Пуск ОСФ во внутренней логике терминала производится при помощи формирования сигнала **[103002] Разр. ОСФ** на функциональной логической схеме. ОСФ анализирует сигнал с оптронного входа **[102009] Выход ВЧ приемника** без аппаратных и программных задержек и без привязки к конечной частоте дискретизации устройства. В осциллографе и регистраторе сигнал **[102009] Выход ВЧ приемника** записывается уже приведенным частоте дискретизации устройства.

### 5.1.7.2 Методики снятия фазной характеристики ОСФ

Снятие фазной характеристики возможно двумя методами, каждый из которых имеет свои преимущества:

- **в нагрузочном режиме**, когда вектора  $I_{\text{КФ}}$  формируются из тока нагрузки (п. 5.1.7.3);
- **подачей токов от ИУ**, когда вектора  $I_{\text{КФ}}$  формируются путем подачи фазных токов от испытательной установки (п. 5.1.7.4).

В процессе эксплуатации и непосредственно перед вводом в эксплуатацию рекомендуется провести снятие фазной характеристики **в нагрузочном режиме**, так как он позволяет проверить защиту в комплексе: линия электропередачи + первичное и вторичное ВЧ оборудование + измерительные трансформаторы токов и напряжений + релейная защита. Только после успешного снятия характеристики **в нагрузочном режиме** можно говорить о

завершении проверки ДФЗ. Если характеристику не удалось снять, либо снятые параметры не удовлетворяют требованиям, переходят от комплексной проверки к проверке отдельных узлов, в том числе с применением другой методики **подачей токов от ИУ**.

Для определения уставок, необходимых для совмещения микропроцессорной ДФЗ с электромеханической целесообразно получить точное значение угла смещения ВЧ пакетов двух полукомплектов относительно друг друга в системе с заведомо известным противофазным расположением углов векторов токов  $\dot{I}_{\text{КФ}}$ . Это возможно при применении методики снятия фазной характеристики **подачей токов от ИУ**, синхронизированных посредством GPS сигнала. Таким образом обеспечивается необходимый порог ОМ, исключаются фазовые смещения, вызванные емкостными токами или неправильной работой устройства КЕТ, небалансами из-за несимметричности первичной системы и погрешности измерительных трансформаторов тока и напряжения.

### 5.1.7.3 Снятие фазной характеристики ОСФ в нагрузочном режиме

Целью проверки является определение «истинной» фазной характеристики в комплексе: линия электропередачи + первичное и вторичное ВЧ оборудование + измерительные трансформаторы токов и напряжений + релейная защита. Необходимым условием проверки угла блокировки является протекание по линии тока нагрузки величиной не менее 10% от номинального тока.

Для снятия фазной характеристики ДФЗ необходимо оба полукомплекта защиты перевести в режим тестирования.

В терминале защиты своего конца ВЛ (п/к А) в меню терминала выставить значения параметров:

- [206243] Тестирование / ДФЗ / Проверка угла блокировки / есть;
- [206242] Тестирование / ДФЗ / Чередование фаз / обратное;
- [206244] Тестирование / ДФЗ / Ветвь хар-ки блокирования / положительная.

В терминале защиты удаленного конца ВЛ (п/к Б) в меню терминала выставить значения параметров:

- [206243] Тестирование / ДФЗ / Проверка угла блокировки / есть;
- [206242] Тестирование / ДФЗ / Чередование фаз / обратное.

П р и м е ч а н и е – При установке на противоположном конце ЭМ панели ДФЗ, в МП ДФЗ также возможна односторонняя автоматическая проверка угла блокировки. Для этого в ЭМ панели перекрещиваются фазы В и С и принимаются меры по предотвращению автоматического останова ВЧ. Описание методик снятия фазной характеристики указаны в соответствующих методических указаниях по проверке и наладки ЭМ панели.

Командой «старт» из пункта меню [206245] Тестирование / ДФЗ / Старт автом. проверки угла блокировки запустить процесс измерения угла блокировки. Измерение будет производиться автоматически и займёт некоторое время. В этом же меню, в процессе измерения, можно наблюдать увеличивающееся текущее значение угла.

После того, как устройство закончит измерение, на дисплее будет выведена надпись «стоп» и окончательное значение измеренного угла блокировки, по которому фиксируется значение угла срабатывания.

Измерение провести не менее 5 раз. Определить среднее значение измеренного угла положительной ветви характеристики блокирования –  $\varphi_{\text{сраб}}^+$ .

Аналогично произвести измерение угла блокировки для отрицательной ветви характеристики, установив прежде значение: [206244] Тестирование / ДФЗ / Ветвь хар-ки блокирования / отрицательная в терминале

защиты своего конца ВЛ (п/к А). Измерение провести не менее 5 раз. Зафиксировать среднее значение измеренного угла отрицательной ветви характеристики блокирования –  $\varphi_{\text{сраб}}^-$ .

Если при измерениях высвечивается значение угла  $90^\circ$  или  $-90^\circ$ , это означает, что угол блокирования по соответствующей ветви зоны блокирования более  $90^\circ$  (за счет значительной асимметрии ветвей) или отсутствует сигнал на выходе ОСФ (ток в нагрузочном режиме значительно меньше 10 % от номинального).

На рисунке 27 показан процесс снятия фазной характеристики в нагрузочном режиме с помощью автоматической проверки, встроенной в терминал ДФЗ.

С учётом компенсации ёмкостных токов линии, токи защит в этот момент находятся в противофазе (рисунок 27 в).

В этом режиме сигналы пуска передатчика защит подстанций А и Б сдвинуты друг относительно друга на  $180^\circ$ , и, следовательно, сигнал приёмника будет сплошным (рисунок 27 г - ПРМ<sub>А</sub>, ПРМ<sub>Б</sub>). При этом импульсы сигналов приёмника могут быть сдвинуты ( $t_{\text{задер}}$ ) относительно сигналов передатчика. Значение задержки зависит от типа приёмопередатчиков.

Измерение угла блокировки производится поворотом вектора тока своего п/к на угол  $\varphi_{\text{сдвига}}$  (рисунок 27 в), что на диаграмме импульсов приёма-передачи отображается в виде смещения сигнала пуска передатчика одного из п/к на время равное  $t_{\text{сдвига}}$  (рисунок 27 д).

Увеличение значения времени сдвига между сигналами ПРД<sub>А</sub> и ПРД<sub>Б</sub> приводит к появлению пауз в сигнале приёмника. Последовательно увеличивая угол поворота вектора тока ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ ), сдвигая тем самым момент появления сигнала пуска передатчика ( $t_1, t_2, t_3, \dots$ ), можно добиться срабатывания контрольного реле, т.е. выхода рабочей точки из зоны блокирования, по которому и определить значение  $\varphi_{\text{бл}}$  (рисунок 27 б).

Определить измеренный угол блокировки  $\varphi_{\text{бл}} = |\varphi_{\text{сраб}}^+ - \varphi_{\text{сраб}}^-|/2$  и асимметрию ветвей характеристики блокирования  $\Delta\varphi_{\text{асим}} = |\varphi_{\text{сраб}}^+| - |\varphi_{\text{сраб}}^-|$ .

Провести аналогичные измерения углов для удаленного п/к защиты (п/к Б), поменяв условия проверки для п/к А и Б.

Асимметрия ветвей характеристики блокирования по отношению к углу между токами по концам линии  $180^\circ$  (неравенство модулей измеренных углов  $\varphi_{\text{сраб}}^+$  и  $\varphi_{\text{сраб}}^-$  более  $5^\circ$ ) может определяться несколькими факторами:

- неодинаковостью исполнений комбинированных фильтров ОМ у полуккомплектов защиты (п. 5.1.6.2);
- неодинаковостью характеристик ВЧ приемопередатчиков полуккомплектов защиты – разные задержки обрабатываемых сигналов, неодинаковые уставки по удлинению сигналов приемника и по компенсации времени пробега ВЧ сигнала по ВЛ, если такие уставки имеются. Если компенсация времени пробега ВЧ сигнала по ВЛ в приемопередатчиках отсутствует, то на каждые 100 км ВЛ приходится  $6^\circ$  разности модулей измеренных углов  $\varphi_{\text{сраб}}^+$  и  $\varphi_{\text{сраб}}^-$ .
- неточной компенсацией половины ёмкостного тока ВЛ – неправильно выставленные в полуккомплектах защиты уставки по компенсации ёмкостного тока линии, отсутствие цепей напряжения или их неисправность. Если компенсация ёмкостного тока в защите отсутствует, то на каждые 100 км ВЛ дополнительно приходится  $6^\circ$  разности модулей измеренных углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .
- неодинаковость характеристик трансформаторов тока по концам защищаемой линии, оказывающая влияние при малых токах нагрузочного режима линии.

При оценке величины асимметрии и отклонении измеренной зоны характеристики блокирования от уставки следует помнить, что при расчете уставки по зоне блокирования учитываются времена пробега ВЧ сигнала и сдвиг фаз токов по концам линии, если компенсация емкостных токов в защите не предусмотрена.

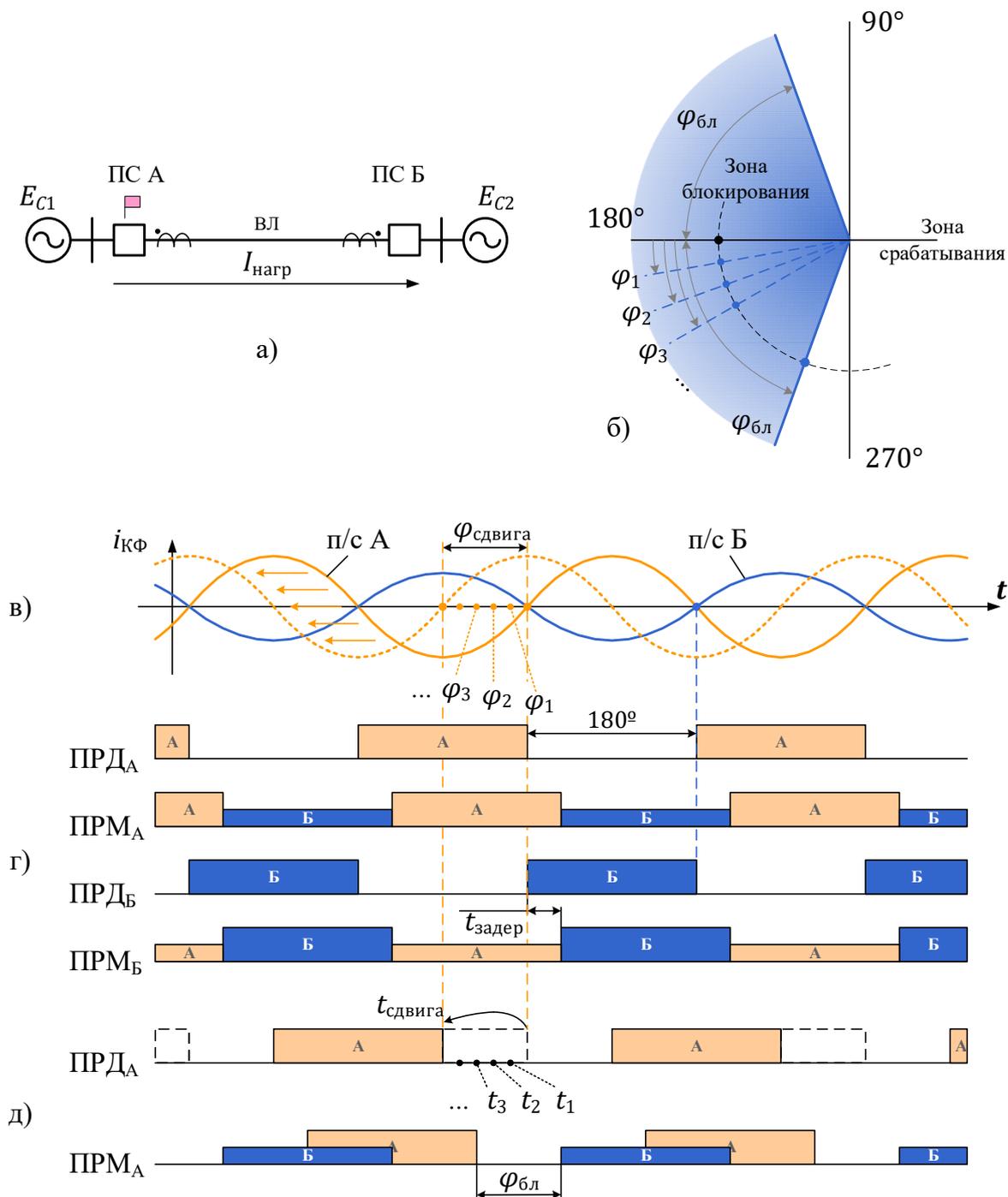


Рис. 27 – Методика снятия фазной характеристики ОСФ в нагрузочном режиме

#### 5.1.7.4 Снятие фазной характеристики ОСФ подачей токов от ИУ

Проверка производится подачей одноименных фаз тока на одноименные аналоговые входа терминалов по концам линии от испытательных установок, синхронизированных посредством устройства принимающего 1PPS сигнал по GPS.

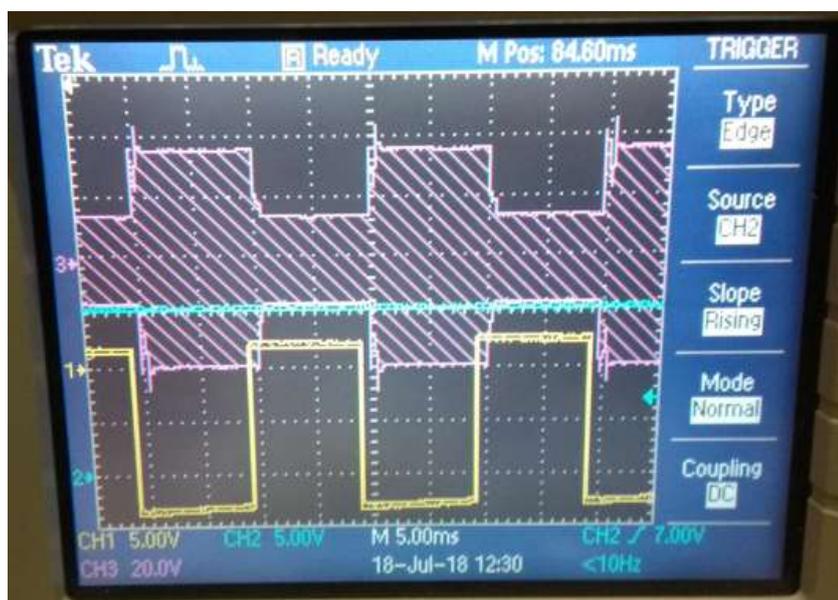
Для снятия фазной характеристики ДФЗ необходимо оба полукомплекта защиты перевести в режим тестирования с записью уставки.

В терминалах защиты своего (п/к А) и удаленного (п/к Б) конца ВЛ в меню терминала выставить значение параметра:

- [206243] Тестирование / ДФЗ / Проверка угла блокировки / есть.

С помощью ИУ своего (п/к А) и удаленного (п/к Б) конца ВЛ в одноименную фазу подаются одинаковые по модулю токи, равные номинальному. Угол тока в ИУ п/к Б устанавливается равным  $0^\circ$ , а в ИУ п/к А устанавливается равным  $180^\circ$ .

Убедиться в отсутствии пауз в ВЧ сигнале в пункте меню терминала [001202] Длительность ВЧ паузы и, если таковой имеется, на экране внешнего осциллографа, подключенного непосредственно к коаксиальному кабелю ВЧ.



фиолетовый сигнал - ВЧ сигнал на коаксиальном входе ПП,  
 желтый сигнал - пуск передатчика в своем п/к

Рис. 28 – Показания осциллографа при подаче токов от ИУ под углом  $180^\circ$

В своей ИУ выставить шаг изменения угла не более  $0,5^\circ$ .

В интерфейсе управления ИУ п/к А начать плавно изменять значение угла от  $180^\circ$  в сторону **уменьшения** до фиксации надежного срабатывания ОСФ. После фиксации угла срабатывания по интерфейсу управления ИУ заново выставляется значение угла  $180^\circ$ , проверяется факт отсутствия пауз в ВЧ сигнале и возврат ОСФ, затем опыт повторяется не менее 5 раз. Фиксируется среднее значение измеренного угла **отрицательной ветви** характеристики блокирования –  $\varphi_{сраб}^-$ .

В интерфейсе управления ИУ п/к А начать плавно изменять значение угла от  $180^\circ$  в сторону **увеличения** до фиксации надежного срабатывания ОСФ. После фиксации угла срабатывания по интерфейсу управления ИУ заново выставляется значение угла  $180^\circ$ , проверяется факт отсутствия пауз в ВЧ сигнале и возврат ОСФ, затем опыт повторяется не менее 5 раз. Фиксируется среднее значение измеренного угла **положительной ветви** характеристики блокирования –  $\varphi_{сраб}^+$ .

Определяется асимметрия ветвей характеристики блокирования  $\Delta\varphi_{\text{асим}} = |\varphi_{\text{сраб}}^+ - 180| - |\varphi_{\text{сраб}}^- - 180|$ . Если значение угла асимметрии равно и более  $5^\circ$ , то следует принять меры по выявлению причины (п. 5.1.7.3).

Если причиной асимметрии является неодинаковость исполнения комбинированных фильтров ОМ, то следует проверить правильность выставленных уставок в меню **[103901] ДФЗ / [103917] Совместная работа с другим типом ДФЗ**. Если выставление соответствующих программных накладок и регулируемых уставок не устранило асимметрию, следует провести перенастройку ЭМ панели.

Также в режиме совместимости следует проверить измеренный угол блокировки  $\varphi_{\text{бл}} = |\varphi_{\text{сраб}}^+ - \varphi_{\text{сраб}}^-|/2$  на предмет соответствия уставке. Значение истинного угла блокировки возможно определить только при комплексной проверке п. 5.1.7.3.

## 5.1.8 Искажения ВЧ сигнала, влияющие на работу ДФЗ (НДЗ)

### 5.1.8.1 Удлинение заднего фронта ВЧ сигнала на выходе приемника

При измерении ВЧ сигналов в канале связи из-за свойства ВЧ фильтров приемника накапливать энергию происходит замедление спада заднего фронта ВЧ импульса, что приводит к удлинению длительности ВЧ импульса на выходе приемника и соответственно к укорочению паузы. Более того, из-за затухания ВЧ сигнала при распространении по каналу связи, удлинение «чужого» ВЧ сигнала происходит в меньшей степени, чем для «своего». Существующие отечественные ВЧ приемопередатчики имеют разные искажения сигналов в зависимости от заложенных принципов исполнения (приемник прямого усиления или супергетеродинного типа, одноканальный или двухканальный, наличие аппаратного уменьшения усиления при приеме «своего» сигнала, компенсация задержек). Также имеется зависимость искажений от используемой частоты ВЧ сигнала, параметров ВЧ канала, разнота частот.

**Примечание** – Под «чужим» принимается ВЧ сигнал приемопередатчика с удаленного конца линии, который суммируется в ВЧ тракте с сигналом со «своего» конца и преобразуется в ВЧ приемнике.

**Примечание** – Удлинение заднего фронта можно посмотреть в пункте меню **[001912] Текущие аналоговые величины**.

Из-за неодинаковости удлинений «своего» и «чужого» сигнала происходит асимметричное расширение зоны блокировки фазной характеристики ОСФ: в отрицательную ветвь (по часовой стрелке) от «чужого», в положительную ветвь (против часовой стрелки) от «своего» удлинения.

На рисунке 29.1 показаны зоны блокировки в наихудшем случае, когда удлинение «своего» сигнала максимально, а удлинение «чужого» полностью отсутствует. Относительно идеально симметричной зоны блокировки на рисунке 26 зона блокировки на рисунке 29.1 имеет отклонение угла блокировки (в сторону увеличения) в положительной ветви характеристики на величину  $\Delta\varphi_{\text{ПВ}}$ . При этом ось симметрии зоны блокировки поворачивается относительно  $180^\circ$  на угол  $\Delta\varphi_{\text{асим}}$ , который в общем случае, при наличии удлинений ВЧ сигналов обоих п/к, можно рассчитать по формуле:

$$\Delta\varphi_{\text{асим}} = \frac{\Delta\varphi_{\text{ПВ}} - \Delta\varphi_{\text{ОВ}}}{2}, \quad (16)$$

где  $\Delta\varphi_{\text{ПВ}}, \Delta\varphi_{\text{ОВ}}$  – (нежелательное) увеличение угла блокировки в положительной и отрицательной ветвях характеристики соответственно вследствие удлинения задних фронтов своего и чужого ВЧ импульса.

Для того чтобы скомпенсировать расширение зоны блокировки в устройстве применяется компенсация удлинения, задаваемая уставкой по времени удлинения  $t_{удл\ уст}$ , которая рассчитывается по формуле:

$$t_{удл\ уст} = \frac{t_{удл}^{св} + t_{удл}^{чуж}}{2}, \quad (17)$$

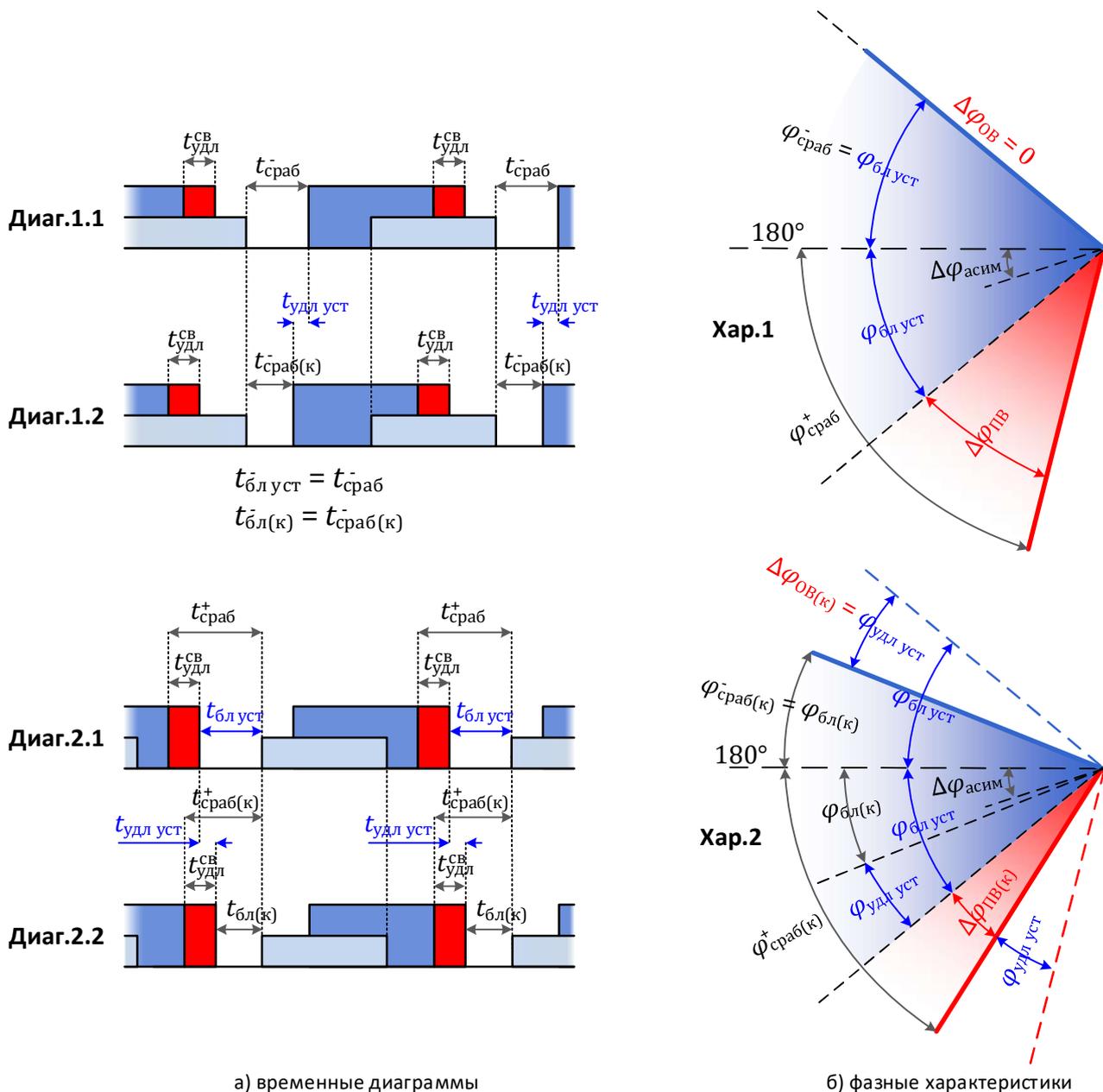
где  $t_{удл}^{св}$  – измеренное время удлинения ВЧ импульса в «своем» приемнике при пуске только «своего» передатчика;

$t_{удл}^{чуж}$  – измеренное время удлинения ВЧ импульса в «своем» приемнике при пуске только «чужого» передатчика.

В результате компенсации уставка по углу блокировки уменьшается на угол  $\varphi_{удл\ уст}$  компенсации удлинения, эквивалентный уставке  $t_{удл\ уст}$ , что равносильно одинаковому уменьшению угла блокировки по положительной и отрицательной ветвям характеристики на величину  $\varphi_{удл\ уст}$ . При этом измеряемая ширина зоны блокировки уменьшается до требуемого значения  $2 \cdot \varphi_{бл\ уст}$ , но величина угла  $\Delta\varphi_{асим}$  остается прежней. Величины фиксируемых углов срабатывания  $\varphi_{сраб(к)}^{\pm}$  по положительной и отрицательной ветвям фазной характеристики также уменьшаются на величину  $\varphi_{удл\ уст}$ . Таким образом компенсированные величины удовлетворяют системе уравнений:

$$\begin{cases} t_{бл(к)} = t_{бл\ уст} - t_{удл\ уст} \\ \varphi_{бл(к)} = \varphi_{бл\ уст} - \varphi_{удл\ уст} \\ \varphi_{сраб(к)}^{\pm} = \varphi_{сраб}^{\pm} - \varphi_{удл\ уст} \\ \Delta\varphi_{асим(к)} = \Delta\varphi_{асим} \end{cases} \quad (18)$$

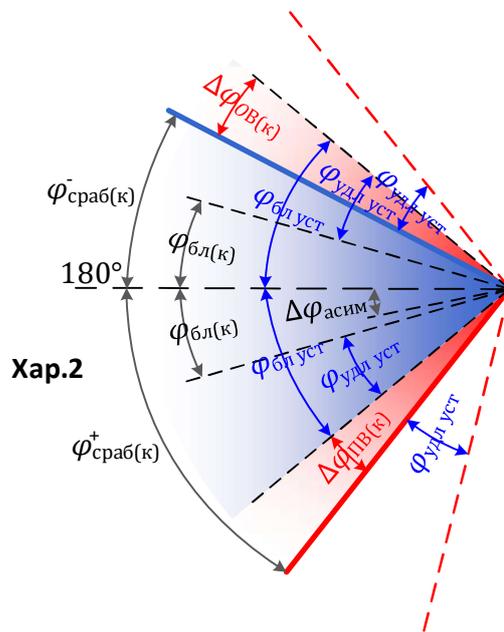
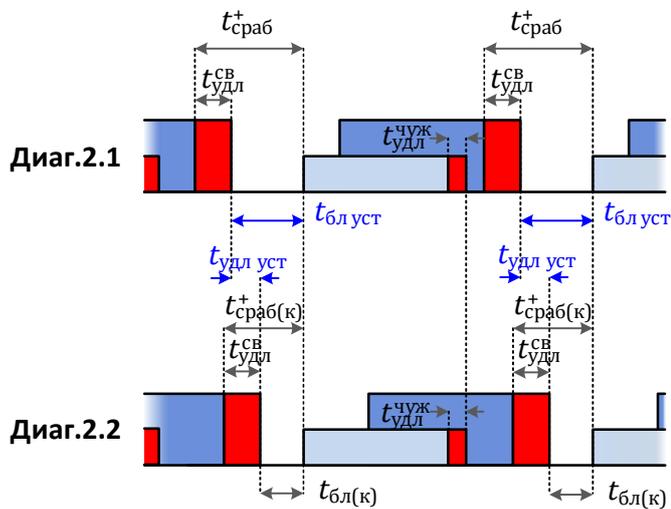
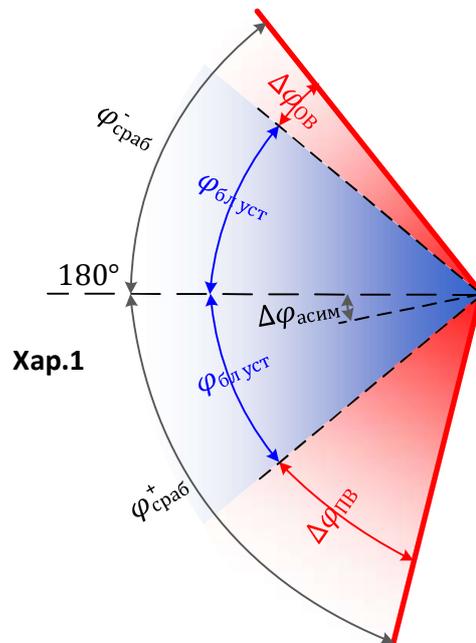
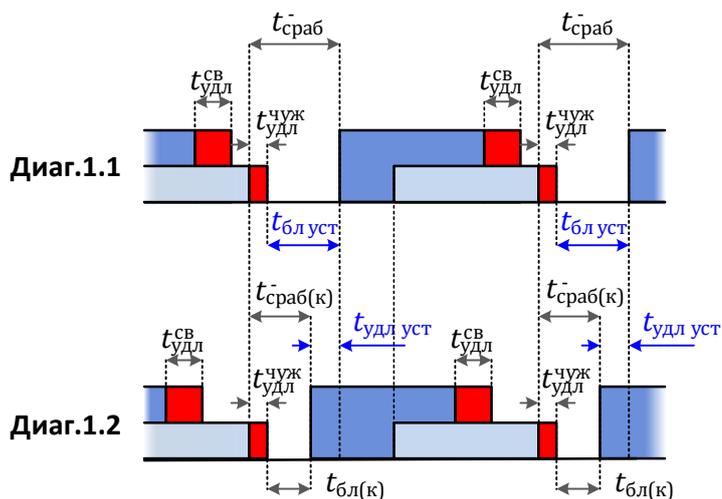
На рисунке 29.1 изображен наихудший случай искажений ВЧ сигналов, когда присутствует только удлинение «своего» сигнала, а удлинение «чужого» равно нулю. В этом случае угол асимметрии  $\Delta\varphi_{асим}$  максимален. Если при наличии удлинения «своего» сигнала прибавить также удлинение «чужого», то угол асимметрии уменьшается (рисунок 29.2). В наилучшем случае искажения присутствуют одинаковые удлинения «своего» и «чужого» сигналов, при этом угол  $\Delta\varphi_{асим}$  равен нулю (рисунок 29.3), что позволяет путем компенсации удлинения получить характеристику близкую к идеальной (рисунок 26).



Диэг.1.1, Диэг.2.1, Хар.1 – в режиме без компенсации удлинения,

Диэг.1.2, Диэг.2.2, Хар.2 – в режиме с компенсацией удлинения.

Рис. 29.1 – Временные диаграммы и фазная характеристика ОСФ при удлинении только «своего» сигнала (наихудший случай)



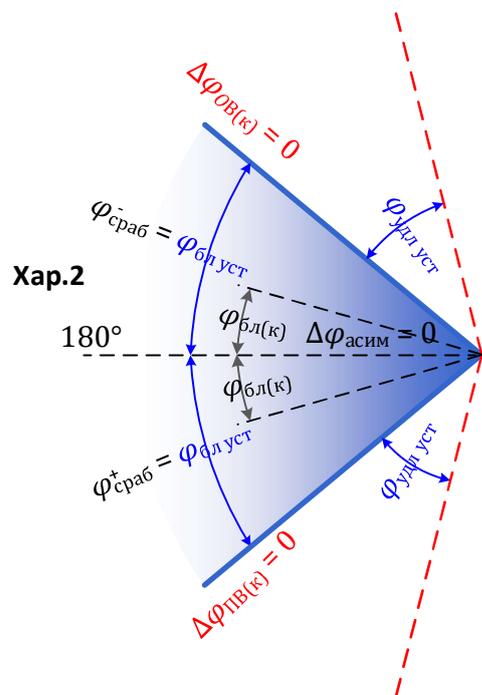
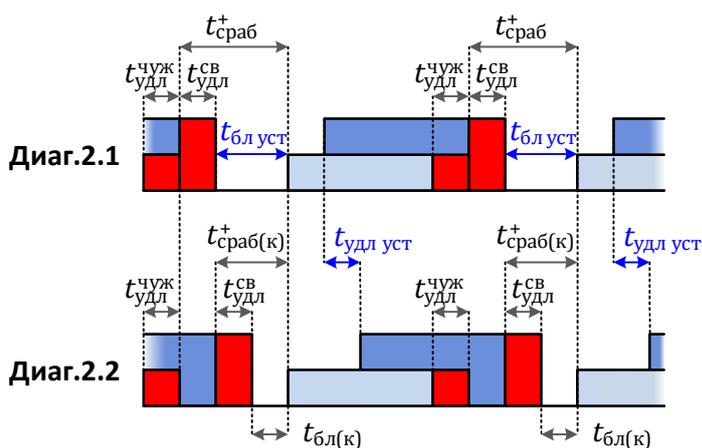
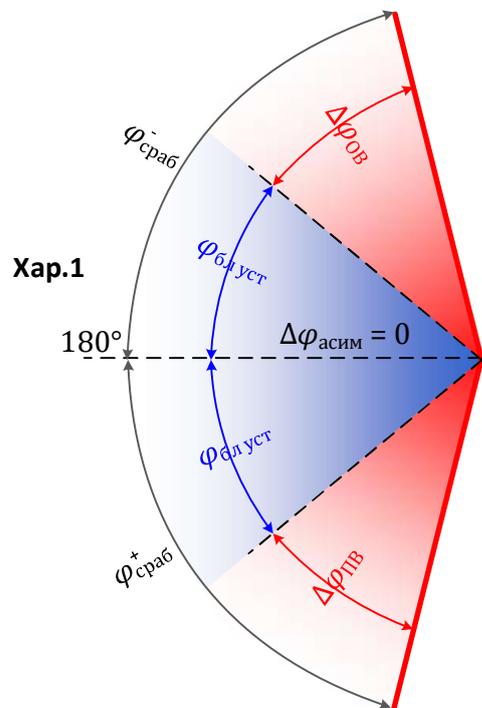
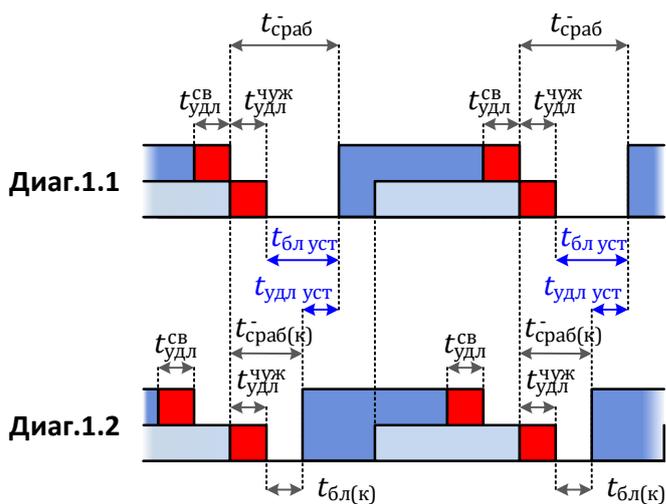
а) временные диаграммы

б) фазные характеристики

Диаг.1.1, Диаг.2.1, Хар.1 – в режиме без компенсации удлинения,

Диаг.1.2, Диаг.2.2, Хар.2 – в режиме с компенсацией удлинения.

Рис. 29.2 – Временные диаграммы и фазная характеристика ОСФ при удлинении «своего» и «чужого» сигнала (общий случай)



а) временные диаграммы

б) фазные характеристики

Диаг.1.1, Диаг.2.1, Хар.1 – в режиме без компенсации удлинения,

Диаг.1.2, Диаг.2.2, Хар.2 – в режиме с компенсацией удлинения.

Рис. 29.3 – Временные диаграммы и фазная характеристика ОСФ при одинаковом удлинении «своего» и «чужого» сигнала (наилучший случай)

### 5.1.8.2 Задержка переднего фронта ВЧ сигнала на линии

Как известно, скорость распространения электромагнитной волны приближается к скорости света в вакууме  $c \approx 300$  тыс. км/с. При длинах линии, соизмеримых с длиной электромагнитной (э/м) волны с частотой 50 Гц ( $\lambda =$

$c/f \approx 6000$  км) происходят фазовые сдвиги между величинами на разных участках линии, связанные с временем прохождения волны между ними.

В случае с ВЧ защитой происходит двойная задержка при распространении сигналов:

– задержка прохождения э/м волны аварийного тока от места КЗ до места установки ТТ и ТН, которая компенсируется с помощью КЕТ;

– задержка прохождения э/м волны ВЧ сигнала от передатчика удаленного конца линии до своего ВЧ приёмника.

**Примечание** – Задержку переднего фронта можно посмотреть в пункте меню [001912] Текущие аналоговые величины.

В большинстве приёмопередатчиков предусмотрена компенсация времени пробега волны. Если компенсации времени пробега нет, то при расчёте угла блокировки необходимо учитывать поправку, увеличивающую ширину зоны блокировки ДФЗ:

$$\varphi_{\text{попр}} = \frac{L_{\text{л.уст}}}{100} \cdot 6^\circ, \quad (19)$$

где  $L_{\text{л.уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

Уставка по углу блокировки с учетом поправки определяется как

$$\varphi'_{\text{бл.уст}} = \varphi_{\text{бл.уст}} + \varphi_{\text{попр}}. \quad (20)$$

### 5.1.9 Компенсация ёмкостного тока

Учитывая наличие на длинных линиях значительной ёмкостной проводимости, с целью выравнивания углов и модулей токов, подводимых к полукompлектам защиты при внешних КЗ и в неполнофазном режиме ОАПВ, предусмотрена компенсация половины ёмкостного тока линии («электрический вынос» ТТ на середину линии) [2, 3]. Принцип компенсации ёмкостного тока ОП по П-образной схеме замещения линии показан на рисунке 30. В каждом полукompлексе защиты к ПО и ОМ подводится компенсированный ток ОП, вычисляемый по формуле:

$$i_{2к} = i_2 - k_{\text{вын}} \cdot C_{\text{л}}^* \cdot \frac{du_2}{dt}, \quad (21)$$

где  $i_2, u_2$  – мгновенные значения токов и напряжений по ОП;

$k_{\text{вын}}$  – коэффициент выноса ТТ на линию равный 0,5;

$C_{\text{л}}^*$  – эквивалентная емкость в однофазной схеме замещения линии.

**Примечание** – Для правильной работы ОМ в цикле ОАПВ к устройству КЕТ необходимо подводить напряжения с ТН установленного на линии, а не на шинах.

**Примечание** – Для трехконцевых линий коэффициент выноса ТТ на линию равен 1,0, потому что задаются параметры только своего участка линии до точки разветвления.

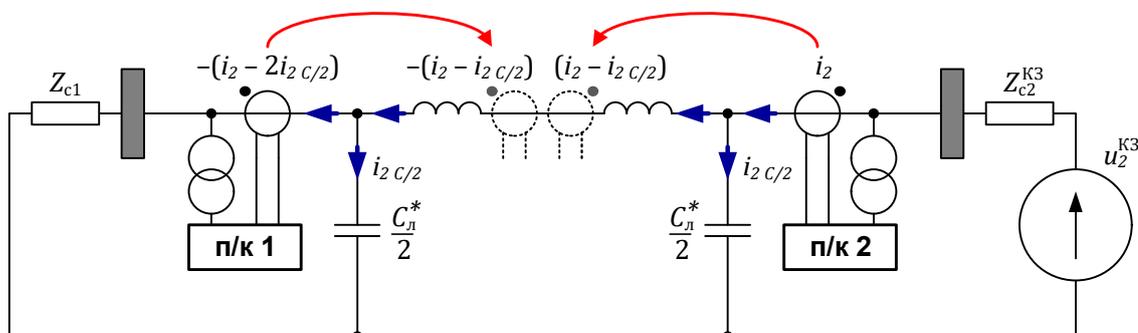


Рис. 30 – Схема замещения ОП с компенсацией емкостных токов линии при внешнем КЗ за спиной п/к 2

Выравнивание токов, подводимых к ПО, повышает селективность защиты при внешних КЗ и в неполнофазном режиме ОАПВ (ДФЗ), обеспечивается необходимый разнос по чувствительности ПО, разрешающих пуск ВЧ сигнала и ПО, подготавливающих цепи отключения. Кроме того, в ДФЗ корректируются фазовые соотношения токов, подводимых к ОМ обоих полукомплектов защиты, обеспечивая правильный взаимный угол между выходными сигналами ОМ (приблизительно 180°).

При срабатывании БНН (несоответствие напряжений «звезды» и «треугольника») в одном из полукомплектов защиты компенсация емкостного тока в нем автоматически выводится и формируется сигнал **[050012] Вывод компенсации емкостного тока от БНН**. После возврата БНН компенсация автоматически вводится в действие.

При срабатывании БНН в ДФЗ 330-750 кВ производится автоматическое загрузление [8] уставок срабатывания отключающих ПО  $I_{2\text{от}}$ ,  $DI_{2\text{от}}$ ,  $DI_{1\text{от}}$  в соответствии с выражениями:

$$I'_{2\text{от уст}} = I_{2\text{от уст}} + \frac{|U_{\text{ном}} \cdot b_{1\text{уст}} \cdot L_{\text{л уст}}|}{4}, \tag{22}$$

$$DI'_{2\text{от уст}} = DI_{2\text{от уст}} + \frac{|U_{\text{ном}} \cdot b_{1\text{уст}} \cdot L_{\text{л уст}}|}{4}, \tag{23}$$

$$DI'_{1\text{от уст}} = DI_{1\text{от уст}} + \frac{|U_{\text{ном}} \cdot b_{1\text{уст}} \cdot L_{\text{л уст}}|}{4}, \tag{24}$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии;

$b_{1\text{уст}}$  – уставка по удельной проводимости линии по ПП;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка по длине линии.

Одновременно при загрузлении уставки срабатывания ПО, подготавливающим цепи отключения, автоматически загрузляется и порог ОМ в формуле (15), определяющий степень его недоформированности.

Даже при компенсации емкостного тока только в одном из двух полукомплектов, предельная длина линии, которую возможно защитить при использовании ДФЗ, увеличивается в два раза по сравнению с предельной длиной вообще без компенсации емкостных токов [7]. Применение ДФЗ без компенсации емкостного тока на обоих концах линии допустимо только на воздушных ЛЭП 110-220 кВ сравнительно небольшой протяженности.

### КЕТ при ТАПВ и ОЛ

На включаемом при ТАПВ или ОЛ конце линии устройство КЕТ обеспечивает отстройку ПО от токов ОП и НП, которые при запаздывании или недовключении одной/двух фаз выключателя будут равны 1/3 от емкостного фазного тока линии. В ДФЗ 330-750 кВ всегда используется компенсация только половины емкостного тока ( $0,5 \cdot C_{\text{л}}^*$ ).

В НВЧЗ 330-750 кВ в нормальном режиме работы используется компенсация половины емкостного тока, а при ТАПВ и ОЛ на включаемом и на отключенном конце линии в органах по току и мощности ОП используется перекомпенсация емкостного тока ( $1,2 \cdot C_L^*$ ).

На отключенном конце линии при ТАПВ или ОЛ удаленного конца устройство КЕТ обеспечивает срабатывание блокирующих токовых органов и пуск ОМ от вычисленного тока компенсации (второе слагаемое в формуле (21), в то время как первое слагаемое равно нулю). Это критично для ДФЗ линий 330-750 кВ, где всегда используется компенсация только половины емкостного тока ( $0,5 \cdot C_L^*$ ), т.к. оставшееся значение емкостного тока ОП при неполнофазном включении выключателя может привести к излишнему срабатыванию отключающих органов на включаемом при ТАПВ или ОЛ конце линии.

В НВЧЗ для линий 330-750 кВ в процессе включения на включаемом и на отключенном конце линии используется перекомпенсация емкостного тока ( $1,2 \cdot C_L^*$ ), вследствие чего на включаемом конце линии срабатывание отключающих органов не происходит даже при одновременности включения фаз выключателя, а на отключенном конце возможен опциональный пуск ВЧ передатчика от вычисленного тока компенсации.

## **5.1.10 Многоконцевые линии электропередачи**

### **5.1.10.1 Общие сведения о многоконцевых линиях**

С точки зрения релейной защиты многоконцевой считается линия электропередачи с тремя и более концами и минимум одной точкой разветвления, находящейся в зоне действия основной защиты линии. Точка разветвления – это точка, в которой соединяются три и более ветви многоконцевой линии. Оконечные линии могут как иметь источник ЭДС (активное ответвление), так и не иметь источника (пассивное ответвление).

Активное ответвление считается полноценной линией и требует установки на своем конце полного полуккомплекта основной защиты линии. На конце пассивного ответвления полуккомплект либо не устанавливается, либо, в случае использования в качестве основной защиты ВЧЗ, устанавливается неполный (блокирующий) полуккомплект.

Полным полуккомплексом или просто полуккомплексом (п/к) называется полуккомплект ВЧЗ, имеющий полный функционал. Неполным или блокирующим полуккомплексом (бл. п/к) – полуккомплект ВЧЗ, не имеющий отключающих пусковых органов, цепей отключения и останова ВЧ. Установка блокирующего п/к на ответвлении необходима при нехватке чувствительности органов основных п/к к внутренним КЗ, используемого для исключения внешних повреждений за пределами ответвления. Внешним повреждением по отношению к ответвлению считается повреждение за трансформатором, установленным в конце ответвления. Хотя зоной действия ВЧЗ считается линия ответвления до вводов ВН, сам трансформатор, как правило, частично входит в зону действия защиты.

Не зависимо от вида ВЧЗ основной линии, блокирующий полуккомплект, устанавливаемый на подстанции пассивного ответвления производит пуск сплошного (неманипулированного) ВЧ сигнала при обнаружении внешнего повреждения. Блокирующий полуккомплект может быть выполнен как на основе РНМОП, так и на основе РНМНП. Использование РНМНП не рекомендуется при наличии заземления нейтрали у трансформаторов ответвления, т.к. из-за образования пути протекания тока НП через нейтраль РНМНП может сработать излишне (см рисунок 31). Также, в случае соединения обмотки НН трансформатора в треугольник, РНМНП не почувствует однофазные КЗ на стороне НН. Поэтому, если требуется резервирование защит стороны НН и предотвращение длительных пусков ВЧ

целесообразно использовать РНМОП с действием через выдержку времени большую, чем время отключения выключателя ВН или НН трансформатора при КЗ за ним.

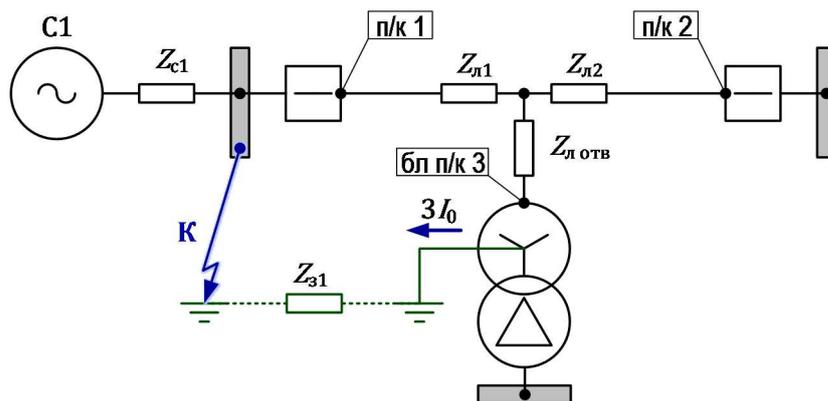


Рис. 31 – Путь тока НП при внешнем КЗ на землю в схеме с трансформатором с заземленной нейтралью на ответвлении

### 5.1.10.2 Определение коэффициента ответвления на линиях с пассивными ответвлениями

Расчет уставок ведется для полных полукомплектов. На концах пассивных ответвлений не устанавливаются полукомплекты ВЧЗ, либо устанавливаются блокирующие полукомплекты (п. 5.1.10.1).

Для определения коэффициента ответвления рассматриваются следующие режимы:

**Режим 1.** Рассматривается режим внешнего КЗ, близкого для удаленной питающей системы (рисунок 32). В худшем, с точки зрения селективности, случае через п/к 2 протекает ток примерно равный уставке блокирующего органа ( $I_{\text{бл уст}}$ ), а через п/к 1 протекает ток примерно равный уставке отключающего органа ( $I_{\text{от уст}}$ ). То есть в удаленном полукомплекте 2 на грани срабатывания находится блокирующий ПО, а в своем полукомплекте 1 – отключающий ПО. В этом случае необходимо загрузить уставку  $I_{\text{от уст}}$ , чтобы не возникла ситуация, когда отключающий ПО в своем полукомплекте сработал, а блокирующий ПО в удаленном полукомплекте – нет. Это достигается учетом токораспределения между ответвлениями и питающими концами ВЛ при расчете уставки срабатывания.

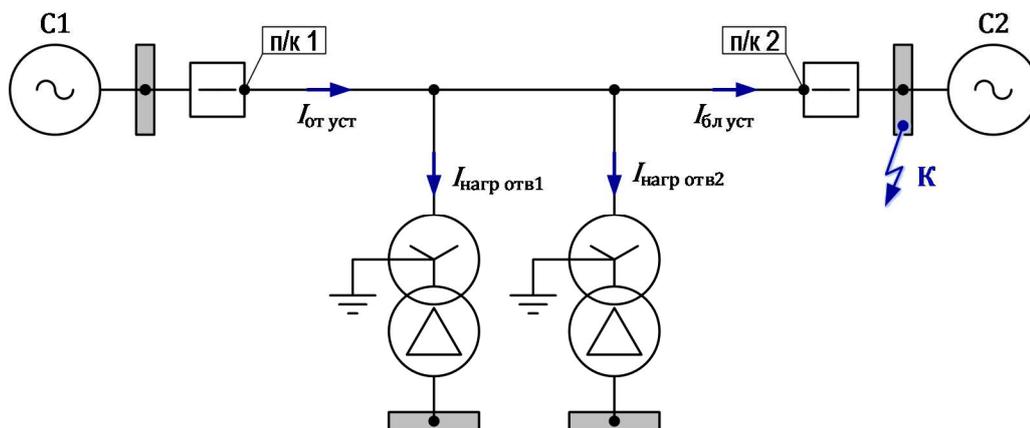


Рис. 32 – Схема многоконцевой линии с двумя концами без питания (пассивные ответвления)

Коэффициент ответвления определяется для каждого п/к как отношение тока, измеренного в своем полукомплекте, к току, измеренному в другом полукомплекте, с которым производится согласование. Тогда, на линии

с двумя питающими концами где установлены полукомплекты 1 и 2 и одним или несколькими пассивными ответвлениями,  $k_{отв}$  для п/к 1 рассчитывается по формуле:

$$k_{отв} = k_{отв\ 1-2} = \frac{I_{п/к\ 1}}{I_{п/к\ 2}} = \frac{I_{от\ уст}}{I_{бл\ уст\ удал}} = \frac{I_{бл\ уст} + I_{\Sigma\ нагр\ отв}}{I_{бл\ уст\ удал}} = 1 + \frac{I_{\Sigma\ нагр\ отв}}{I_{бл\ уст\ удал}}, \quad (25)$$

где  $I_{п/к\ 1}$  – ток линии, текущий через п/к 1;

$I_{п/к\ 2}$  – ток линии, текущий через п/к 2;

$I_{бл\ уст\ удал}$  – уставка блокирующего органа по току удаленного п/к;

$I_{\Sigma\ нагр\ отв}$  – максимальный ток нагрузки на своем конце линии, равный сумме максимальных рабочих токов концов без питания.

**Режим 2.** Режим КЗ на шинах питающей подстанции в минимальном режиме работы системы с противоположного конца линии (рисунок 33). В начальный момент КЗ нагрузка на концах без питания рассматривается как генерирующий источник.

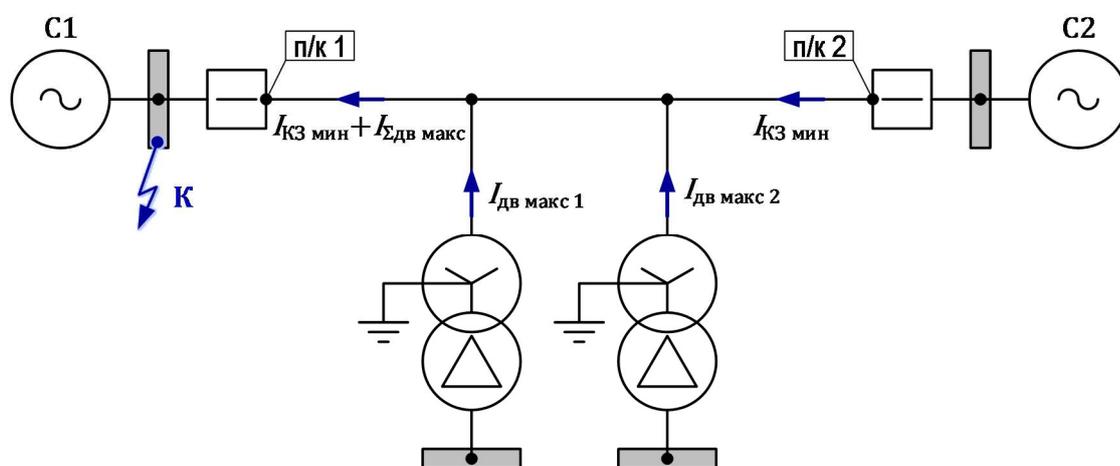


Рис. 33 – Схема многоконцевой линии с двумя концами без питания (нагрузка на концах без питания рассматривается как генерирующий источник)

Коэффициент ответвления определяется по выражению:

$$k_{отв} = k_{отв\ 1-2} = \frac{I_{п/к\ 1}}{I_{п/к\ 2}} = \frac{I_{КЗ\ мин} + I_{\Sigma\ дв\ макс}}{I_{КЗ\ мин}} = 1 + \frac{I_{\Sigma\ дв\ макс}}{I_{КЗ\ мин}}, \quad (26)$$

где  $I_{п/к\ 1}$  – ток линии, текущий через п/к 1;

$I_{п/к\ 2}$  – ток линии, текущий через п/к 2;

$I_{\Sigma\ дв\ макс}$  – суммарный ток, генерируемый двигателями нагрузки на концах без питания к месту повреждения;

$I_{КЗ\ мин} = I_{п/к\ 2}$ .

Короткое замыкание рассматривается на шинах каждой из питающих подстанций.

В качестве расчетного принимается наибольшее из значений  $k_{отв}$ , рассчитанных по выражениям (25) и (26).

Далее  $k_{отв}$  учитывается при расчетах уставок (см.п.5.2.1.2 и 5.2.7.2).

### 5.1.10.3 Определение коэффициента ответвления на линиях с активными ответвлениями

Активное ответвление считается полноценной линией, на конце которой в обязательном порядке устанавливается полный полукомплект ВЧЗ (п. 5.1.10.1).

Рассматривается режим внешнего КЗ, близкого для своей питающей системы (рисунок 34). В худшем с точки зрения селективности случае через п/к 1 протекает ток, равный уставке отключающего органа ( $I_{от\ уст}$ ), а через полукомплекты 2 и 3 протекают токи равные уставке блокирующего органа ( $I_{бл\ уст}$ ). То есть в удаленных полукомплектах на грани срабатывания находятся блокирующие ПО, а в своем полукомплекте – отключающий ПО. Поэтому с помощью коэффициента ответвления  $k_{отв}$  необходимо загрузить уставку  $I_{от\ уст}$ , чтобы не возникла ситуация, когда отключающий ПО в своем полукомплекте сработал, а блокирующие ПО в удаленных полукомплектах – нет.

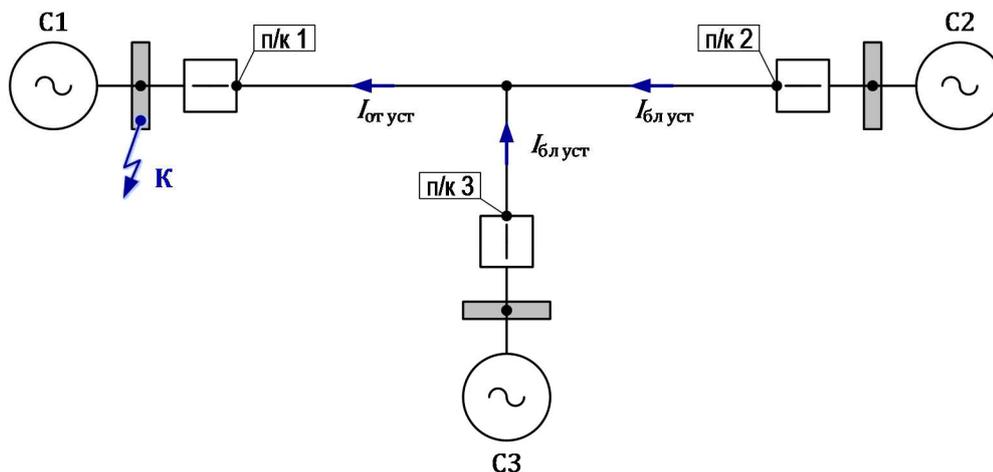


Рис. 34 – Схема многоконцевой линии с питанием на всех концах

В общем случае для линии, имеющей несколько концов с питанием, предельное расчетное значение  $k_{отв} = n - 1$ , где  $n$  - число питающих концов линии. Точный расчет значения  $k_{отв}$  целесообразно производить в случае нехватки чувствительности отключающего реле. Коэффициент ответвления определяется для каждого п/к как отношение тока, измеренного в своем полукомплекте, к току, измеренному в другом полукомплекте, с которым производится согласование. Тогда, на линии с тремя равноправными активными ответвлениями  $k_{отв}$  для п/к 1 рассчитывается по системе уравнений:

$$\begin{cases} k_{отв\ 1-2} = \frac{I_{п/к\ 1}}{I_{п/к\ 2}} = \frac{I_{п/к\ 2} + I_{п/к\ 3}}{I_{п/к\ 2}} = 1 + \frac{I_{п/к\ 3}}{I_{п/к\ 2}} \\ k_{отв\ 1-3} = \frac{I_{п/к\ 1}}{I_{п/к\ 3}} = \frac{I_{п/к\ 2} + I_{п/к\ 3}}{I_{п/к\ 3}} = 1 + \frac{I_{п/к\ 2}}{I_{п/к\ 3}} \\ k_{отв} = \max(k_{отв\ 1-2}, k_{отв\ 1-3}) \end{cases} \quad (27)$$

Далее  $k_{отв}$  учитывается при расчетах уставок (см.п.5.2.1.2 и 5.2.7.2).

#### 5.1.10.4 Определение коэффициента ответвления на линиях со смешанными ответвлениями

Если на линии более двух ветвей с источниками питания на концах, но есть как минимум одна ветвь без источника питания, то удаленные ветви с источниками питания необходимо эквивалентировать в одну ветвь и рассчитывать  $k_{отв}$  как для линии с пассивными ответвлениями согласно п. 5.1.10.2.

### 5.1.11 Тупиковые линии и линии со слабым питанием на одной из сторон

Тупиковыми линиями электропередач считаются линии, на которых генерирующие источники подключены к шинам подстанции только на одном из концов линии, в т.ч. из-за длительной работы автоматики на другой стороне. В рамках текущего документа примем, что у тупиковой линии нет параллельных тупиковых линий, а подстанцию на конце без питания будем называть тупиковой подстанцией.

Линии со слабым питанием в отличие от тупиковых характеризуются наличием источников малой мощности на слабом конце, либо подпиткой с низкой стороны понижающих трансформаторов.

Для тупиковых линий и линий со слабым питанием наилучшим решением во всех случаях будет отказ от ВЧЗ в пользу ДЗЛ, так как в ДЗЛ оба п/к видят одни и те же дифференциальные и тормозные токи.

В качестве наихудшего случая для ВЧЗ далее будем рассматривать только тупиковые линии.

**Внешние КЗ** на тупиковых линиях не представляют проблем для ВЧЗ:

- КЗ за спиной п/к питающего конца приводит с большой вероятностью к «молчанию» обоих п/к, либо к пускам обоих п/к если тока нагрузки в здоровых фазах будет достаточно для срабатывания ПО;
- КЗ за спиной п/к тупикового конца приводит к пускам обоих п/к.

В результате пуски обеспечивают наличие сплошного ВЧ сигнала в канале (в обоих п/к) вследствие суммирования ВЧ пакетов от двух источников - ОМ ДФЗ, находящихся в противофазе, либо вследствие пуска неманипулированного ВЧ сигнала полукомплектом НВЧЗ/ВЧБ питающего конца.

**Внутренние КЗ** представляют большую проблему для п/к тупикового конца. На рисунках 35 и 36 показаны схемы КЗ и векторные диаграммы на тупиковой линии с понижающим трансформатором, установленным на шинах тупиковой подстанции, питающим нагрузку (ток  $I_1$ ). Величины токов симметричных составляющих, текущих через п/к 2, зависят от тока нагрузки и переходного сопротивления в месте КЗ. Если трансформатор отключен с низкой стороны, то ток нагрузки по линии не течет, и все токи КЗ по СС в п/к 2 равны нулю. Характерной чертой векторных диаграмм на рисунках 35 б и 36 б является направление мощности ОП – вектор  $\dot{U}_2$  находится в зоне срабатывания ИО  $M_2$  от НВЧЗ 110-220 кВ вблизи  $180^\circ$ , что близко к левой границе зоны (п. 5.1.2.1). Ток НП протекает через п/к 2 только в схеме с заземленной нейтралью трансформатора.

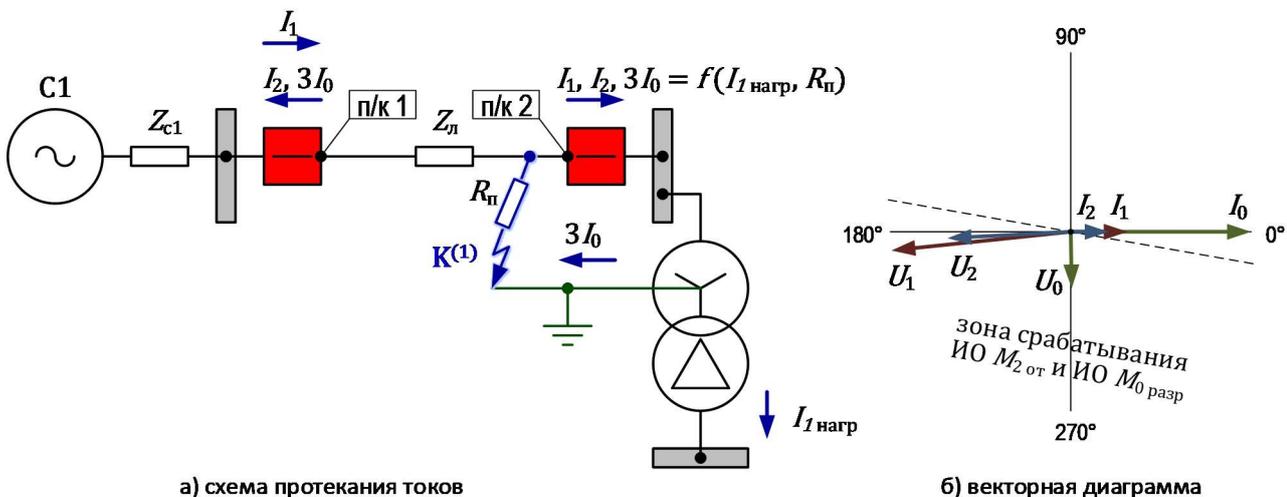


Рис. 35 – Направление векторов напряжений СС относительно токов СС, вычисленных по измерениям в п/к 2 при однофазном КЗ на нагруженной тупиковой линии с трансформатором с заземленной нейтралью

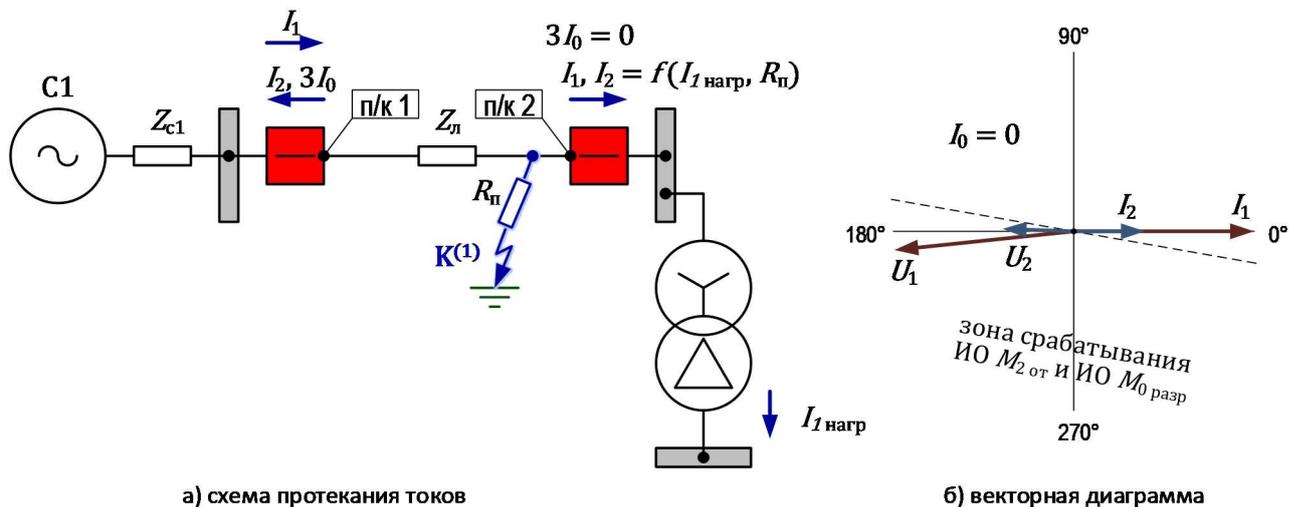


Рис. 36 – Направление векторов напряжений СС относительно токов СС, вычисленных по измерениям в п/к 2 при однофазном КЗ на нагруженной тупиковой линии с трансформатором с изолированной нейтралью

Наихудшим видом ВЧЗ на тупиковых линиях является ДФЗ, так как пуск ПО/ИО п/к тупикового конца при малом токе нагрузки может сопровождаться пуском неманипулированного либо манипулированного с недостаточной скважностью ВЧ сигнала. Немногим лучше ситуация у НВЧЗ. Направление мощности ОП далеко от угла максимальной чувствительности ИО  $M_{2\text{от}}$  НВЧЗ 110-220 кВ, что для ДФЗ означает существенное смещение ВЧ пакетов в сторону блокировки, а для НВЧЗ вероятность излишнего пуска ВЧ в п/к 2 вследствие смещения направления мощности ОП в зону блокировки из-за небалансов в токе и напряжении. Поэтому для ДФЗ и НВЧЗ лучшим случаем при внутренних КЗ будет «молчание» п/к 2 и отключение выключателя тупикового конца посредством телекоманды. Так как отключающие ПО/ИО могут сработать в п/к 2 от токов нагрузки неповрежденных фаз, необходимо предпринимать меры по останову ВЧ в п/к 2. Один из способов останова предложен в статье [13].

Наилучшим видом ВЧЗ на тупиковых линиях согласно опытам на рисунках 35 и 36 является ВЧБ. В случае заземленной нейтрали трансформатора направление мощности НП близко к углу  $\varphi_{\text{мч}}$ . В случае изолированной нейтрали трансформатора мощность НП не течет и п/к остается незапущенным.

### 5.1.12 Линии с тяговой нагрузкой

#### 5.1.12.1 Общие сведения о линиях с тяговой нагрузкой

Режим работы сети с тяговой нагрузкой характеризуется значительными, медленно изменяющимися небалансами по току и напряжению обратной последовательности. При этом небалансы по току и напряжению нулевой последовательности значительно меньше и не изменяются со временем, потому что источник несимметрии находится на стороне НН трансформатора тяговой подстанции, обмотка которого соединена в треугольник. Применение ВЧЗ на таких ЛЭП является ограниченным ввиду снижения чувствительности и надежности функционирования.

Тяговая нагрузка может быть «сквозной» и «ответвительной».

**Сквозная тяговая нагрузка** – это нагрузка в сети внешнего электроснабжения, при которой эквивалентный источник несимметрии находится за пределами защищаемой линии. Для двухконцевой линии эквивалентный источник несимметрии находится на шинах одного из концов линии. Для многоконцевых линий с пассивными ответвлениями эквивалентный источник несимметрии находится на шинах одного из питающих концов линии. Для

многоконцевых линий с активными ответвлениями источник несимметрии находится на шинах любого из концов линии.

**Ответвительная тяговая нагрузка** – это нагрузка в сети внешнего электроснабжения, при которой эквивалентный источник несимметрии оказывается в пределах защищаемой зоны ВЧЗ многоконцевой линии, на шинах ВН пассивного ответвления.

**Примечание** – Под электрической сетью внешнего электроснабжения подразумевается смежная электрическая сеть, элементы которой подключены к одному или нескольким концам защищаемого объекта и находящаяся вне зоны действия основной защиты этого защищаемого объекта.

Углы токов прямой и обратной последовательности при сквозной тяговой нагрузке соответствуют режиму внешнего КЗ, при ответвительной тяговой нагрузке – КЗ в зоне действия защиты. Несмотря на то, что ПО по приращению векторов токов ОП ( $DI_{2\text{ бл}}$ ,  $DI_{2\text{ от}}$ ) отстроены от статичных и плавно изменяющихся небалансов в нагрузочном режиме, они могут срабатывать при коммутациях в сети тяговой нагрузки. При этом в сети со сквозной тяговой нагрузкой может происходить пуск ВЧ сигнала без действия защиты на отключение, а в сети с ответвительной тяговой нагрузкой пуск ВЧ может сопровождаться излишним действием на отключение. То есть, во всех случаях происходит снижение чувствительности и надежности функционирования защиты.

В случае присоединения тягового трансформатора непосредственно к шинам маломощной подстанции, нагрузочный ток ОП на отходящей от нее линии может достигать 50% от тока ПП, что соответствует  $k_{2\text{ сети}} = 0,5$  в формуле расчета тока небаланса (29). Тогда при внутренних КЗ произойдет наложение двух несимметрий и результирующий вектор тока ОП может оказаться недостаточным по модулю, а его угол может соответствовать внешнему КЗ. Причем, если отключающий ИО мощности ОП НВЧЗ имеет достаточно широкую зону срабатывания, чтобы «противостоять» влиянию внешней несимметрии, то для ДФЗ даже небольшой небаланс по току ОП может привести к значительному сдвигу и/или расширению ВЧ импульсов.

#### 5.1.12.2 Общие критерии применимости ВЧЗ на линиях с тяговой нагрузкой

Применение ВЧЗ на ЛЭП с тяговой нагрузкой является ограниченным. При проектировании релейной защиты линий с тяговой нагрузкой наилучшим решением во всех случаях будет отказ от ВЧЗ в пользу ДЗЛ (ЭКРА.650323.110 Д7), т.к. пофазные дифференциальные органы не подвержены влиянию несимметрии тяговой нагрузки (п. 5.1.13). Если возможности установки ДЗЛ нет, то следует рассматривать ВЧЗ по степени приспособленности к тяговым нагрузкам от большей к меньшей в следующем порядке: ВЧБ, НВЧЗ, ДФЗ. После чего следует оценить применимость выбранного вида ВЧЗ.

Оценка применимости ВЧЗ состоит в расчете и проверке уставок согласно текущему РВУ в специализированном ПМК способном моделировать аварийные события в сети с заведомо известной статичной несимметричной внешней нагрузкой ( $k_{2\text{ сети}} > 0,02$ ). То есть все расчеты уставок выполняются по результирующим токам и напряжениям в энергосистеме с несколькими источниками несимметрии.

**Примечание** – При расчете уставок ВЧЗ для ЛЭП с тяговой нагрузкой ставится задача по уменьшению количества пусков защиты при изменении нагрузочных токов. Полное исключение пусков в нагрузочном режиме, как правило, не представляется возможным ввиду ограничений по чувствительности защиты. С точки зрения аппаратной реализации в терминалах ВЧЗ производства ООО НПП «ЭКРА» для пуска ВЧ используется оптронный выход, коммутационная износостойкость которого не нормируется и ограничена только сроком эксплуатации устройства в целом. На ЛЭП с мощной

тяговой нагрузкой, когда от токов нагрузки часто пускаются и блокирующие и отключающие органы, вероятность излишнего действия ВЧЗ на отключение будет зависеть от своевременности выявления неисправности ВЧ оборудования. В частности, следует уделить внимание такому параметру ВЧ оборудования как периодичность пуска устройства автоматической проверки канала (АПК).

### 5.1.12.3 Применимость ДФЗ на линиях с тяговой нагрузкой

Применимость ДФЗ:

- на линии со сквозной тяговой нагрузкой определяется коэффициентом чувствительности манипуляции (п. 5.2.9.3 и 5.2.9.4) и нахождением вектора результирующего тока  $I_{КФ}^{св}$  (п. 5.1.7) за пределами зоны блокировки при внутренних КЗ как в наименее, так и в наиболее нагруженной фазе в различных точках линии;
- на линии с ответвительной тяговой нагрузкой определяется нахождением вектора результирующего тока  $I_{КФ}^{св}$  в пределах зоны блокировки при внешних КЗ в наиболее отдаленных точках внешней энергосистемы на грани чувствительности пусковых органов по приращению (п. 5.2.3.1 и 5.2.4.1), которые должны быть отстроены от внешних коммутаций со стороны тяговой подстанции.

Примечание – Под коммутациями подразумеваются не только включения коммутационных аппаратов, но и смена питающих фаз тягового трансформатора при прохождении нейтральной вставки электровозом или электропоездом.

### 5.1.12.4 Применимость НВЧЗ на линиях с тяговой нагрузкой

Применимость НВЧЗ:

- на линии со сквозной тяговой нагрузкой определяется коэффициентом чувствительности (37) и вхождением вектора результирующего напряжения ОП в зону срабатывания ИО мощности ОП (рисунок 4) при внутренних КЗ как в наименее, так и в наиболее нагруженной фазе в различных точках линии;
- на линии с ответвительной тяговой нагрузкой определяется нахождением вектора результирующего напряжения ОП за пределами зоны срабатывания ИО мощности ОП при внешних КЗ в наиболее отдаленных точках внешней энергосистемы на грани чувствительности пусковых органов по приращению (п. 5.2.3.1 и 5.2.4.1), которые должны быть отстроены от внешних коммутаций со стороны тяговой подстанции.

### 5.1.12.5 Применимость ВЧБ на линии с тяговой нагрузкой

Так как трансформатор тяговой подстанции имеет соединение обмотки НН (тяговая обмотка) в треугольник, наиболее предпочтительной защитой примыкающих к такой подстанции линий является ВЧБ с ИО направления мощности НП (аналог ЭПЗ 1643). Критерий применимости для ВЧБ ограничивается отстройкой органов по приращению (п. 5.2.3.1 и 5.2.4.1) используемых в логике БК от коммутаций со стороны тяговой подстанции для линий подверженных качаниям и асинхронному ходу.

### 5.1.13 ДФЗ с оптическим каналом связи в сравнении с ДЗЛ

Рассмотрим основные преимущества и недостатки ДЗЛ (ЭКРА.650323.110 Д7) по ВОЛС в сравнении с ВЧЗ по ВЧКС [12]:

- + иммунитет к небалансам в первичной сети (п. 5.1.12.2);
- + дифференциальные ИПФ (ОАПВ);
- + лучшая работа на кабельных линиях (за счет ВОЛС);
- + лучшая в сравнении с ДФЗ работа на тупиковых линиях [13] (п. 5.1.11);
- + лучшая в сравнении с ДФЗ работа при симметричных КЗ (в т.ч. при насыщении ТТ);

Примечание – К току ПП КЗ ДФЗ имеет в  $k$  (6-10) раз меньше чувствительность чем к току ОП, вызванному небалансом. Поэтому симметричные КЗ с насыщением ТТ с большой вероятностью приводят к замедлению отключения при внутренних КЗ и излишнему отключению при внешних КЗ.

- худшая работа на многоконцевых линиях с пассивными ответвлениями;

Примечание – ДЗЛ, как и любой вид ВЧЗ требует установки полноценного полуконспекта на активном ответвлении.

- отказ защиты при потере КС (необходимость резервирования КС) и при повреждениях ВОЛС более долгий процесс восстановления;

- относительно НВЧЗ и ВЧБ несколько хуже работа при насыщениях ТТ.

Не смотря на некоторые недостатки, при организации на объекте ВОЛС в первую очередь следует рассмотреть возможность использования в качестве основной защиты линии именно ДЗЛ. Недостаток работы на трехконцевых линиях с пассивным ответвлением (в т.ч. при тяговой ответвительной нагрузке) связан с протеканием фазных токов нагрузки в линию в обоих п/к и при установке на ответвлении мощного трансформатора (например, тягового) отстройка от фазных токов нагрузки может быть невозможной. Этот недостаток компенсируется так же, как и на трехконцевых линиях с активным ответвлением – установкой на пассивном конце третьего п/к ДЗЛ с подключением его КС к входам резервных КС полуконспектов на активных концах. Но при таком соединении отсутствует резервный КС, что ухудшает надежность защиты.

Также, на двухконцевых линиях на которых резервный КС смонтирован на тех же опорах ЛЭП, что основной, при обрушении опоры возможна потеря обоих КС одновременно.

Таким образом, если на объекте есть проблемы с резервным оптическим КС, то применение ДФЗ по ВОЛС имеет преимущество над применением ДЗЛ. Во всех остальных случаях на линиях с оптическим каналом связи применение ДЗЛ более предпочтительно чем применение ВЧЗ.

## 5.2 Расчет и выбор параметров настройки (уставок) и алгоритмов

### 5.2.1 Выбор уставок ПО с пуском по току ОП (I<sub>2</sub>)

5.2.1.1 Выбор уставки по току ПО с пуском по току ОП, действующего на блокировку (I<sub>2</sub> бл), ИО направления мощности ОП, действующего на отключение (M<sub>2</sub> от) и ПО с пуском по току ОП и торможением по току ПП, действующего на пуск логики БК (I<sub>2т</sub> пуск)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103203] I<sub>сп</sub> ПО I<sub>2</sub>, блокирующий ( $I_{2 \text{ бл уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;

- [104201] Icr ПО I2, блокирующий ( $I_{2 \text{ бл уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ;
- [104203] Icr ПО I2т, пускающий БК ( $I_{2т \text{ пуск уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ 110-220 кВ и [105206] Icr ПО I2т, пускающий БК ( $I_{2т \text{ пуск уст}}$ ) из состава [105901] ВЧБ 110-220 кВ.

Данные уставки обеспечивают пороги срабатывания [012007] ПО I2, блокирующий, [012081] ПО I2 (НВЧЗ), блокирующий, [011003] ИО М2 (НВЧЗ), отключающий, [012013] ПО I2т, пускающий и ОМ ДФЗ (п. 5.1.6).

Расчет уставки на линии с тяговой нагрузкой не требуется, так как ПО выводится из действия.

Уставка  $I_{2 \text{ бл уст}}$  органа с пуском по току ОП, действующего на блокировку, выбирается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ, частотными небалансами фильтров ОП и погрешностями их настройки, а также небалансами нагрузочного режима сети.

$$I_{2 \text{ бл уст}} = I_{2т \text{ пуск уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \quad (28)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

$I_{2 \text{ нб расч}}$  – расчетный ток небаланса по ОП, который рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} I_{2 \text{ нб расч}} &= I_{\text{раб макс}} \cdot \sqrt{k_{2 \text{ сети}}^2 + \left(\frac{\varepsilon}{3}\right)^2 + \Delta\Phi^2 + \left(k_f \cdot \frac{\Delta f}{f_{\text{ном}}}\right)^2} \\ &= k_{\text{нб расч}} \cdot I_{\text{раб макс}} = 0,0245 \cdot I_{\text{раб макс}}, \end{aligned} \quad (29)$$

где  $I_{\text{раб макс}}$  – модуль максимального рабочего тока, выбирается наибольший из двух токов, протекающих через полуконтакты защит по концам линии;

$k_{2 \text{ сети}}$  – коэффициент несимметрии тока по ОП в первичной сети (без тяговой нагрузки) принимается равным 0,02;

$\varepsilon$  – полная погрешность ТТ при номинальном первичном токе принимается равной 0,01 для класса точности 5Р и 0,03 для класса точности 10Р, согласно ГОСТ 7746-2001;

$\Delta\Phi$  – относительная погрешность преобразования сигналов в цепях тока УРЗ, принимается равной 0,01;

$k_f$  – коэффициент зависимости небаланса ФТОП от частоты сети, определяется производителем УРЗ (от 0 до 0,75). Принимается равным 0 для частотно-компенсированных фильтров ОП для версии ПО терминала 3хх и выше и для всех версий ПО терминала 538ххх [5]. Принимается равным 0,23 для фильтров ОП для более ранних версии ПО терминала;

$\Delta f / f_{\text{ном}}$  – предельное отклонение частоты сети от номинальной, принимается равным 0,1.

#### Расчет коэффициента торможения по току ПП для ПО I2т пуск

Рекомендации актуальны для расчета уставки

[104205] Коэффициент торможения ПО тока I2т от и I2т пуск из состава [104901] НВЧЗ 110-220 кВ и [105901] ВЧБ 110-220 кВ.

Данный коэффициент обеспечивает торможение в пороге срабатывания [012013] ПО I2т, пускающий и [012014] ПО I2т, отключающий.

Характеристика торможения [012013] ПО I2т, пускающий и [012014] ПО I2т, отключающий показана на рисунке 11.

Коэффициент торможения рассчитывается исходя из уравнильного тока при асинхронном ходе согласно формуле:

$$k_{т\ уст} = \frac{k_{отс} \cdot I_{2\ нб\ расч}^{(кач)} - I_{2т\ пуск\ уст}}{I_{1\ кач\ макс} - I_{ном}}, \quad (30)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{в}$  – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

$I_{2\ нб\ расч}^{(кач)}$  – расчетный ток небаланса по ОП, рассчитываемый по формуле (29) при токе  $I_{раб\ макс} = I_{1\ кач\ макс}$ ;

$I_{1\ кач\ макс}$  – максимальный ток качаний (асинхронного хода) по ПП;

$I_{ном}$  – номинальный ток устройства.

### Проверка коэффициента чувствительности для ПО I2т пуск

Проверка чувствительности ПО действующего на отключение, производится для каждого п/к по измеренному в своем полуккомплекте току, при междуфазных КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полуккомплекта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного ответвления:

$$k_{ч} = \frac{I_{2\ КЗ\ мин}^{(2)}}{I_{2т\ пуск\ уст}}, \quad (31)$$

где  $I_{2\ КЗ\ мин}^{(2)}$  – модуль минимального тока междуфазного КЗ в зоне действия защиты по ОП, измеренного в своем полуккомплекте;

$I_{2т\ пуск\ уст}$  – уставка [104203] Icp ПО I2т, пускающий БК из состава [104901] НВЧЗ 110-220 кВ и [105206] Icp ПО I2т, пускающий БК из состава [105901] ВЧБ 110-220 кВ.

Требуемое значение коэффициента чувствительности равно 2.

Если  $k_{ч} > 2$ , то для повышения селективности и уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставку  $I_{2т\ пуск\ уст}$  в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности по формуле:

$$I_{2т\ пуск\ уст} = \frac{I_{2\ КЗ\ мин}}{2}, \quad (32)$$

### 5.2.1.2 Выбор уставки ПО с пуском по току ОП, действующего на отключение (I2 от)

Рекомендации актуальны для расчета:

- [103204] Icp ПО I2, отключающий ( $I_{2\ от\ уст}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104202] Icp ПО I2, отключающий ( $I_{2\ от\ уст}$ ) из состава [104901] НВЧЗ.

Данные уставки обеспечивают пороги срабатывания [012008] ПО I2, отключающий, [012082] ПО I2 (НВЧЗ), отключающий.

Расчет уставки на линии с тяговой нагрузкой не требуется, так как ПО выводится из действия.

Для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность блокирующего ПО (п. 5.2.1.1), действующего на пуск ВЧ сигнала в удаленном п/к, была выше чувствительности ПО, действующего на отключение в своем п/к.

Уставка  $I_{2 \text{ от уст}}$  рассчитывается по формуле:

$$I_{2 \text{ от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{2 \text{ отв}} \cdot I_{2 \text{ бл уст удал}}, \quad (33)$$

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

$I_{2 \text{ бл уст удал}}$  – уставка п/к удаленного конца линии, рассчитываемая по формуле (28):

**[103203] Иср ПО I2, блокирующий** из состава **[103901] ДФЗ** или **[104201] Иср ПО I2, блокирующий** ( $I_{2 \text{ бл уст}}$ ) из состава **[104901] НВЧЗ**.

$k_{2 \text{ отв}}$  – коэффициент ответвления, который рассчитывается для каждого п/к как отношение тока, измеренного в своем полуконтакте к току измеренному в другом полуконтакте, с которым производится согласование:

- для линий без ответвлений принимается равным 1.
- для линий с двумя питающими концами и пассивным(и) ответвлениями  $k_{2 \text{ отв}}$  рассчитывается в режиме внешних несимметричных КЗ вблизи удаленного конца линии согласно формулам (25) и (26),

где  $I_{\Sigma \text{ нагр отв}}$  – суммарный ток ОП равный  $I_{2 \Sigma \text{ нагр отв}}$ , рассчитываемый по формуле:

$$I_{2 \Sigma \text{ нагр отв}} = k_{\text{нб расч}} \cdot \sum_{i=1}^n I_{\text{раб макс отв } i}, \quad (34)$$

где  $k_{\text{нб расч}}$  – расчетный коэффициент небаланса в формуле (29);

$n$  – количество пассивных ответвлений;

$I_{\text{раб макс отв } i}$  – максимальный рабочий ток пассивного ответвления с номером  $i$ .

- для линий с тремя равноправными активными ответвлениями  $k_{2 \text{ отв}}$  рассчитывается в режиме внешних симметричных КЗ вблизи своего конца линии согласно формуле (27),

где  $I_{\text{отв } 1}$  – модуль тока линии по ОП, текущий через свой п/к защиты;

$I_{\text{отв } 2}$  и  $I_{\text{отв } 3}$  – модули токов линии по ОП, текущие через удаленные полуконтакты;

### Отстройка от составляющей ОП емкостного тока линии при ТАПВ или ОЛ

Отстройка от составляющей ОП емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при одновременности включения фаз выключателя, не производится для ВЧЗ в которой при указанных операциях осуществляется пуск сплошного или манипулированного ВЧ сигнала (п. 5.1.9). Если пуск ВЧ сигнала не осуществляется, отстройка необходима в случаях:

- работы ВЧЗ в режиме с постоянно выведенной КЕТ;
- если ВЧЗ не имеет функции КЕТ.

**П р и м е ч а н и е** – Функция КЕТ может быть выведена при помощи соответствующей программной накладки, либо при помощи зануления параметров линии, участвующих в формуле расчета емкостного тока линии. Автоматический вывод КЕТ при срабатывании БНН сюда не относится.

При задействованной КЕТ:

- в **НВЧЗ 330-750 кВ** отстройка уставки **[104202] Иср ПО I2, отключающий** не требуется, так как орган действует только с разрешения **[011003] ИО М2 (НВЧЗ), отключающий**, в котором на время 0,15 с после включения первой фазы вводится перекомпенсация емкостного тока линии ( $1,2 \cdot C_{\text{л}}^*$ ), о чем свидетельствует наличие сигнала **[050013] Перекомпенсация емкостного тока**. Кроме того, в логике

существует возможность разрешения ненаправленного пуска ВЧ на отключенном конце линии при срабатывании [012081] ПО I2 (НВЧЗ), блокирующий от устройства КЕТ. Для этого программная накладка [104360] ХВ1\_НВЧЗ Пуск ВЧ на откл.стор.ВЛ от УКЕТ должна быть выставлена в положение 1 - предусмотрен;

Примечание – Ненаправленный пуск ВЧ на отключенном конце линии применяется в случае дополнительной несимметрии при ТАПВ или ОЛ, например, из-за неполнофазно-реакторной схемы.

- в ДФЗ 330-750 кВ отстройка [012008] ПО I2 (ДФЗ), отключающий не требуется, т.к. от устройства КЕТ происходит срабатывание [012007] ПО I2 (ДФЗ), блокирующий с действием на [103001] Разр. ОМ (пуск манипулированного ВЧ сигнала) в течение 0,15 с. Даже если в одном или обоих п/к произойдет срабатывание отключающих органов, положение ВЧ пакетов двух концов в ВЧ тракте будет соответствовать внешнему КЗ и действие на отключение не произойдет.

Для отстройки от емкостного тока линии при ТАПВ или ОЛ в устройстве с выведенной КЕТ уставка  $I_{2 \text{ от уст}}$  должна удовлетворять неравенству:

$$I_{2 \text{ от уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{\text{ф емк}}}{3}, \quad (35)$$

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

$I_{\text{ф емк}}$  – емкостный фазный ток линии в установившемся режиме, который рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{ф емк}} = b_{1 \text{ уст}} \cdot L_{\text{л уст}} \cdot U_{\text{ф ном}}, \quad (36)$$

где  $U_{\text{ф ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии;

$b_{1 \text{ уст}}$  – уставка [050342] Удельная проводимость линии по ПП ( $b_1 \cdot 10^{-6}$ );

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

### Проверка коэффициента чувствительности

Проверка чувствительности ПО действующего на отключение, производится для каждого п/к по измеренному в своем полуккомплекте току, при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полуккомплекта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного ответвления:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}}}{I_{2 \text{ от уст}}}, \quad (37)$$

где  $I_{2 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока несимметричного КЗ в зоне действия защиты по ОП, измеренного в своем полуккомплекте;

$I_{2 \text{ от уст}}$  – уставка [103204] Иср ПО I2, отключающий.

Требуемое значение коэффициента чувствительности равно 2.

Если  $k_{\text{ч}} > 2$ , то для повышения селективности и уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставки  $I_{2 \text{ от уст}}$  и  $I_{2 \text{ бл уст}}$  в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности по формулам:

$$I_{2 \text{ от уст}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}}}{2}, \quad (38)$$

$$I_{2 \text{ бл уст}} = \frac{I_{2 \text{ от уст}}}{2}. \quad (39)$$

Загрубление уставок в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности повышает селективность защиты при внешних КЗ для случаев с неодинаковыми направлениями векторов тока небаланса ОП по концам линии. В таком случае, есть вероятность, что вследствие наложения тока небаланса ОП на аварийный ток ОП, результирующий ток ОП станет ниже порога блокирующего ПО только на том конце линии, для которого КЗ за спиной. Это наиболее актуально для **[103901] ДФЗ 110-330 кВ** и **[104901] НВЧЗ**. Для **[103901] ДФЗ 330-750 кВ** пуск ВЧ будет обеспечиваться от **[013003] ПО DI2, блокирующий** с продлением на 0,5 с, поэтому если требования к чувствительности порога ОМ нарушаются вследствие загрубления, то его можно не производить.

Если  $k_{\text{ч}} < 2$ , то:

- Для **[103901] ДФЗ 110-330 кВ** применимость типа защиты определяется проверкой коэффициентов чувствительности ОМ (п. 5.2.9.3 и 5.2.9.4). Если требования к чувствительности ОМ выполняются, допускается снижение коэффициента отстройки в формуле (33) до значения 1,7, после чего снова проверяется отстройка от емкостного тока и чувствительность. Ввод в работу **[012009] ПО 3I0, блокирующий** и **[012010] ПО 3I0, отключающий** рекомендуется только для режима с тяговой нагрузкой (п. 5.2.5.1).
- Для **[103901] ДФЗ 330-750 кВ** применимость типа защиты определяется проверкой коэффициентов чувствительности ОМ (п. 5.2.9.3 и 5.2.9.4). Если требования к чувствительности ОМ выполняются, вводятся в работу **[015001] ПО U2 (ДФЗ), блокирующий** и **[015002] ПО U2 (ДФЗ), отключающий**. При этом коэффициент чувствительности вновь вводимого ПО, действующего на отключение, должен быть не менее 2.
- Для **[104901] НВЧЗ** допускается снижение коэффициента отстройки в формуле (33) до значения 1,7, после чего снова проверяется отстройка от емкостного тока и чувствительность.

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при расчетах в формулах (37) и (38) вместо  $I_{2 \text{ КЗ мин}}$  можно брать величину  $(I_{2 \text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot I_{2 \text{ емк}})$ ,

где  $I_{2 \text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по ОП, который находится по формуле:

$$I_{2 \text{ емк}} = L_{\text{л уст}} \cdot b_{1 \text{ уст}} \cdot U_{2 \text{ КЗ мин}}, \quad (40)$$

где  $b_{1 \text{ уст}}$  – уставка **[050342] Удельная проводимость линии по ПП ( $b_1 \cdot 10^{-6}$ )**;

$U_{2 \text{ КЗ мин}}$  – напряжение КЗ по ОП в режиме с током  $I_{2 \text{ КЗ мин}}$ ;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка **[050341] Длина линии (Лл)**.

**П р и м е ч а н и е** – При расчете с учетом ёмкостного тока вывод КЕТ (в т.ч. автоматический) для ПО или устройства в целом приведет к повышению чувствительности, что нежелательно при внешних КЗ. Поэтому для ДФЗ 330-750 кВ производится автоматическое загрубление в соответствии с формулой (22). В НВЧЗ на все классы напряжения ПО по току используется совместно с ИО направления мощности, который блокируется при НЦН и автоматическом выводе КЕТ.

### 5.2.1.3 Выбор уставки ПО с пуском по току ОП и торможением по току ПП, действующего на отключение (I2т от)

Рекомендации актуальны для расчета **[104204] Icp ПО I2т, отключающий** ( $I_{2\text{т от уст}}$ ) из состава **[104901] НВЧЗ 110-220 кВ**.

Данная уставка обеспечивает порог срабатывания **[012014] ПО I2т, отключающий**.

Уставку  $I_{2Т\ от\ уст}$  выбирают по условию согласования с **[015004] ПО U2 (НВЧЗ), блокирующий** п/к удаленного конца линии, когда сопротивлением по ОП системы за спиной на своем конце линии не достаточно для срабатывания **[015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий**. При этом расчет и выставление уставки **[104212] Уср ПО U2, отключающий** в п/к своего конца линии обязателен, даже в случае нехватки чувствительности ПО.

Уставка  $I_{2Т\ от\ уст}$  рассчитывается по формуле:

$$I_{2Т\ от\ уст} = \frac{k_{отс} \cdot U_{2\ бл\ уст\ удал}}{\frac{Z_{1\ с\ мин}}{k_{тр}} + Z_1}, \quad (41)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 2;

$U_{2\ бл\ уст\ удал}$  – уставка **[104211] Уср ПО U2, блокирующий** п/к удаленного конца линии;

$Z_{1\ с\ мин}$  – минимальное комплексное эквивалентное сопротивление по ПП системы за спиной;

$Z_1$  – комплексное сопротивление линии по ПП, рассчитываемое по формуле:

$$Z_1 = (r_{1\ уст} + jx_{1\ уст}) \cdot L_{л\ уст}, \quad (42)$$

где  $r_{1\ уст}$  – уставка **[050343] Удельное активное сопротивление линии по ПП (r1)**;

$x_{1\ уст}$  – уставка **[050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП (x1)**;

$L_{л\ уст}$  – уставка **[050341] Длина линии (Lл)**.

$k_{тр}$  – максимальный коэффициент токораспределения, учитывающий влияние параллельных связей на замер полного сопротивления системы, рассчитывается по формуле:

$$k_{тр} = \frac{I_2^{свой}}{I_2^c}, \quad (43)$$

где  $I_2^{свой}$ ,  $I_2^c$  – модули токов ОП при несимметричном КЗ на удаленном конце линии, измеренные на своем конце линии и в системе за спиной соответственно. Определяются из режима, при котором коэффициент токораспределения получается максимальным.

Для согласования с **[012007] ПО I2, блокирующий** п/к удаленного конца линии уставка  $I_{2Т\ от\ уст}$  должна удовлетворять неравенству:

$$I_{2Т\ от\ уст} \geq I_{2\ от\ уст}, \quad (44)$$

где  $I_{2\ от\ уст}$  – уставка **[104202] Иср ПО I2, отключающий** п/к своего конца линии.

Характеристика торможения **[012014] ПО I2т, отключающий** идентична характеристике торможения **[012013] ПО I2т, пускающий** и показана на рисунке 11. Уставка **[104205] Коэффициент торможения ПО тока I2т от и I2т пуск** рассчитывается по формуле (30).

### Проверка коэффициента чувствительности

Проверка чувствительности ПО, действующего на отключение, производится для каждого п/к в режиме с минимальным сопротивлением по ОП системы за спиной и при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полуконспекта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного участка линии.

$$k_{ч} = \frac{I_{2\ КЗ\ мин}}{I_{2Т\ от\ уст}}, \quad (45)$$

где  $I_{2\text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока несимметричного КЗ в зоне действия защиты по ОП, измеренного в своем полуккомплекте.

По условию обеспечения чувствительности хотя бы один из [015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий или [012014] ПО I2т, отключающий должны иметь значение коэффициента чувствительности равное 2. Если это условие не выполняется, то допускается снижение  $k_{\text{отс}}$  при расчете [104212] Уср ПО U2, отключающий (49) до значения 1,7.

## 5.2.2 Выбор уставок ПО с пуском по напряжению ОП (U2)

### 5.2.2.1 Выбор уставки по напряжению ПО с пуском по напряжению ОП, действующего на блокировку (U2 бл) и ИО направления мощности ОП, действующего на отключение (M2 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103221] Уср ПО U2, блокирующий ( $U_{2\text{ бл уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104211] Уср ПО U2, блокирующий ( $U_{2\text{ бл уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ.

Данные уставки обеспечивают пороги срабатывания [015001] ПО U2 (ДФЗ), блокирующий, [015004] ПО U2 (НВЧЗ), блокирующий, [011003] ИО M2 (НВЧЗ), отключающий.

Уставка  $U_{2\text{ бл уст}}$  органа с пуском по напряжению ОП, действующего на блокировку, выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса, определяемого погрешностями ТН, частотными небалансами фильтров ОП и погрешностями их настройки, а также небалансами нагрузочного режима сети.

$$U_{2\text{ бл уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot U_{2\text{ нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \quad (46)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

$U_{2\text{ нб расч}}$  – расчетное напряжение небаланса по ОП, которое рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} U_{2\text{ нб расч}} &= U_{\text{раб макс}} \cdot \sqrt{k_{2\text{ сети}}^2 + \varepsilon^2 + k_{2\text{ нагр ТН}}^2 + \Delta\Phi^2 + \left(k_f \cdot \frac{\Delta f}{f_{\text{ном}}}\right)^2} = \\ &= k_{\text{нб расч}} \cdot U_{\text{раб макс}} = 0,0265 \cdot U_{\text{раб макс}}, \end{aligned} \quad (47)$$

где  $U_{\text{раб макс}}$  – модуль максимально допустимого фазного рабочего напряжения на шинах, которое рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{раб макс}} = 1,05 \cdot U_{\text{ф ном}}, \quad (48)$$

где  $U_{\text{ф ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии;

$k_{2\text{ сети}}$  – коэффициент несимметрии напряжения по ОП в первичной сети (без тяговой нагрузки), принимается равным 0,02 в соответствии с ГОСТ 32144-2013;

$\varepsilon$  – полная погрешность ТН, принимается равной 0,01 согласно ГОСТ 1983-2015 при подключении цепей напряжения «звезды» УРЗ к основным обмоткам ТН класса 1;

$k_{2\text{ нагр ТН}}$  – коэффициент несимметрии нагрузки во вторичной цепи ТН, определяется допустимыми по ПУЭ (пункт 3.4.5) падением напряжения от места установки ТН до клеммника шкафа релейной защиты, принимается равным 0,01. Для цифровых защит с третьей архитектурой построения, коэффициент несимметрии нагрузки во вторичной цепи принимается равным нулю;

$\Delta\Phi$  – относительная погрешность преобразования сигналов в цепях напряжения УРЗ, принимается равной 0,01;

$k_f$  – коэффициент зависимости небаланса ФНОП от частоты сети, определяется производителем УРЗ (от 0 до 0,75). Принимается равным 0 для частотно-компенсированных фильтров ОП для версии ПО терминала 3xx и выше и для всех версий ПО терминала 538xxx [5]. Принимается равным 0,23 для фильтров ОП для более ранних версий ПО терминала;

$\Delta f / f_{\text{ном}}$  - предельное отклонение частоты сети от номинальной, принимается равным 0,1.

### 5.2.2.2 Выбор уставки ПО с пуском по напряжению ОП, действующего на отключение (U2 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103222] Уср ПО U2, отключающий ( $U_{2 \text{ от уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ 330-750 кВ;
- [104212] Уср ПО U2, отключающий ( $U_{2 \text{ от уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ 110-750 кВ.

Данные уставки обеспечивают пороги срабатывания [015002] ПО U2 (ДФЗ), отключающий, [015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий.

Для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность блокирующего ПО (п. 5.2.2.1), действующего на пуск ВЧ сигнала на удаленном конце линии, была выше чувствительности ПО, действующего на отключение на своем конце линии.

Уставка  $U_{2 \text{ от уст}}$  выбирается отстройкой от  $U_{2 \text{ бл уст}}$  :

$$U_{2 \text{ от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot U_{2 \text{ бл уст}}, \quad (49)$$

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

$U_{2 \text{ бл уст}}$  – уставка [103221] Уср ПО U2, блокирующий из состава [103901] ДФЗ или [104211] Уср ПО U2, блокирующий из состава [104901] НВЧЗ;

### Проверка коэффициента чувствительности

Проверка чувствительности ПО, действующего на отключение, производится для каждого п/к в режиме с минимальным сопротивлением по ОП системы за спиной и при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полуконспекта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного участка линии.

$$k_{\text{ч}} = \frac{U_{2 \text{ КЗ мин}}}{U_{2 \text{ от уст}}}, \quad (50)$$

где  $U_{2 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального напряжения несимметричного КЗ в зоне действия защиты по ОП, измеренного в своем полуконспекте.

Требуемое значение коэффициента чувствительности равно 2.

Если  $k_{\text{ч}} > 2$ , то для повышения селективности и уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставки  $U_{2 \text{ от уст}}$  и  $U_{2 \text{ бл уст}}$  в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности по формулам:

$$U_{2 \text{ от уст}} = \frac{U_{2 \text{ КЗ мин}}}{2}, \quad (51)$$

$$U_{2 \text{ бл уст}} = \frac{U_{2 \text{ от уст}}}{2}, \quad (52)$$

Загрубление уставок в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности повышает селективность защиты при внешних КЗ для случаев с неодинаковыми направлениями векторов напряжения небаланса ОП по концам линии. В таком случае, есть вероятность, что вследствие наложения напряжения небаланса ОП на аварийное напряжение ОП, результирующее напряжение ОП станет ниже порога блокирующего ПО только на том конце линии, для которого КЗ за спиной. Это наиболее актуально для **[103901] ДФЗ 110-330 кВ** и **[104901] НВЧЗ**. Для **[103901] ДФЗ 330-750 кВ** пуск ВЧ будет обеспечиваться от **[013003] ПО DI2, блокирующий** с продлением на 0,5 с, поэтому загрубление можно не производить.

Если  $k_{\text{ч}} < 2$ , то:

- Для **[104901] НВЧЗ 110-220 кВ** необходимо ввести в работу **[012014] ПО I2т, отключающий** (п. 5.2.1.3).
- Для **[104901] НВЧЗ 330-750 кВ** необходимо ввести уставку по коэффициенту выноса ТН на линию и параметры торможения.

Для  $k_{\text{ч}} \geq 2$  принимается  $k_{\text{вын уст}} = 0$ , а также для ПО с торможением:  $k_{\text{т1 уст}} = 0$ ,  $k_{\text{т2 уст}} = 0$ ,  $I_{\text{НТ2 уст}} = 15$  о.е.

Для **[103901] ДФЗ 330-750 кВ** для пускового органа **[012008] ПО I2, отключающий** необходимо ввести уставку по коэффициенту выноса ТН на линию **[103223] Коэффициент выноса ТН на линию для U2 бл, U2 от** равную 0,5 в обоих п/к. Чувствительность проверяется по формуле (54).

#### Расчет коэффициента выноса ТН на линию

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- **[104213] Коэффициент выноса ТН на линию для U2 от, M2 от** из состава **[104901] НВЧЗ 330-750 кВ**.

При  $k_{\text{вын уст}} > 0$  ПО реагирует на напряжение  $|\dot{U}_{2 \text{ КЗ мин}} - \dot{I}_{2 \text{ КЗ}} \cdot k_{\text{вын уст}} \cdot Z_1|$ .

Уставка по коэффициенту выноса ТН на линию рассчитывается по следующей упрощенной формуле:

$$k_{\text{вын уст}} = \frac{k_{\text{ч треб}} \cdot U_{2 \text{ от уст}} - U_{2 \text{ КЗ мин}}}{x_{1 \text{ уст}} \cdot L_{\text{л уст}} \cdot I_{2 \text{ КЗ мин}}}, \quad (53)$$

где  $k_{\text{ч треб}}$  – требуемый коэффициент чувствительности, равный 2;

$x_{1 \text{ уст}}$  – уставка по удельному реактивному сопротивлению линии по ПП;

$I_{2 \text{ КЗ мин}}$  – ток КЗ по ОП в режиме с напряжением  $U_{2 \text{ КЗ мин}}$ ;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка **[050341] Длина линии (Lл)**.

Если  $k_{\text{вын уст}} > 1$ , то защита не проходит по чувствительности.

Затем коэффициент чувствительности проверяется по формуле с векторным представлением величин:

$$k_{\text{ч}} = \frac{|\dot{U}_{2 \text{ КЗ мин}} - \dot{I}_{2 \text{ КЗ мин}} \cdot k_{\text{вын уст}} \cdot Z_1|}{U_{2 \text{ от уст}}}, \quad (54)$$

где  $\dot{U}_{2 \text{ КЗ мин}}, \dot{I}_{2 \text{ КЗ мин}}$  – вектора напряжения и тока КЗ по ОП в минимальном по напряжению режиме;

$Z_1$  – комплексное сопротивление линии по ПП, рассчитываемое по формуле:

$$Z_1 = (r_{1 \text{ уст}} + jx_{1 \text{ уст}}) \cdot L_{\text{л уст}}, \quad (55)$$

где  $r_{1 \text{ уст}}$  – уставка **[050343] Удельное активное сопротивление линии по ПП (r1)**;

$x_{1 \text{ уст}}$  – уставка **[050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП (x1)**;

$L_{л\ уст}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

Корректировка  $k_{вын\ уст}$  производится до тех пор, пока величина не будет достигнута максимально близкая к  $k_ч = 2$  величина, рассчитанная по формуле (53). Если  $k_ч > 2$ , то необходимо уменьшить значение  $k_{вын\ уст}$ . Если  $k_ч < 2$ , то необходимо увеличить значение  $k_{вын\ уст}$ .

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при расчетах в формулах (53) и (54) вместо  $I_{2\ КЗ\ мин}$  можно брать величину  $(I_{2\ КЗ\ мин} - 0,5 \cdot I_{2\ емк})$ ,

где  $I_{2\ емк}$  – модуль емкостного тока линии по ОП, который находится по формуле:

$$I_{2\ емк} = L_{л\ уст} \cdot b_{1\ уст} \cdot U_{2\ КЗ\ мин}, \quad (56)$$

где  $b_{1\ уст}$  – уставка [050342] Удельная проводимость линии по ПП ( $b1 \cdot 10^{-6}$ );

$U_{2\ КЗ\ мин}$  – напряжение КЗ по ОП в режиме с током  $I_{2\ КЗ\ мин}$ ;

$L_{л\ уст}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

**П р и м е ч а н и е** – Так как ИО направления мощности не работает при НЦН, то для направленных защит, использующих функцию КЕТ, целесообразно учитывать емкостной ток при расчетах уставок органов, обеспечивающих отключающие пороги срабатывания ИО направления мощности.

#### Расчет параметров торможения

Расчет уставок торможения при  $k_{вын\ уст} = 0$  не требуется и при их наличии могут быть выставлены  $k_{т1\ уст} = 0$ ,  $k_{т2\ уст} = 0$ ,  $I_{НТ2\ уст} = 15$  о. е.

Рекомендации актуальны для расчета [104214] Коэффициент торможения 1-го участка ПО U2 от, [104215] Ток начала торможения 2-го участка ПО U2 от, и [104216] Коэффициент торможения 2-го участка ПО U2 от из состава [104901] НВЧЗ, применяемых в комбинированной направленной и дифференциально-фазной защите линий 330-750 кВ.

С добавлением выноса ТН в величину напряжения добавляются небалансы по току, которые при больших значениях величины  $k_{вын\ уст} \cdot |Z_1|$  будут соизмеримы со значением  $U_{2\ от\ уст}$ . Поэтому в условии срабатывания ПО, действующего на отключение, вводится торможение по минимальному фазному току. Характеристика торможения ПО, действующего на отключение, представлена на рисунке 37. По оси ординат отложен ток ОП, при котором за счет выноса ТН на линию (без подведения напряжения) срабатывает ПО  $U_{2\ от}$ .

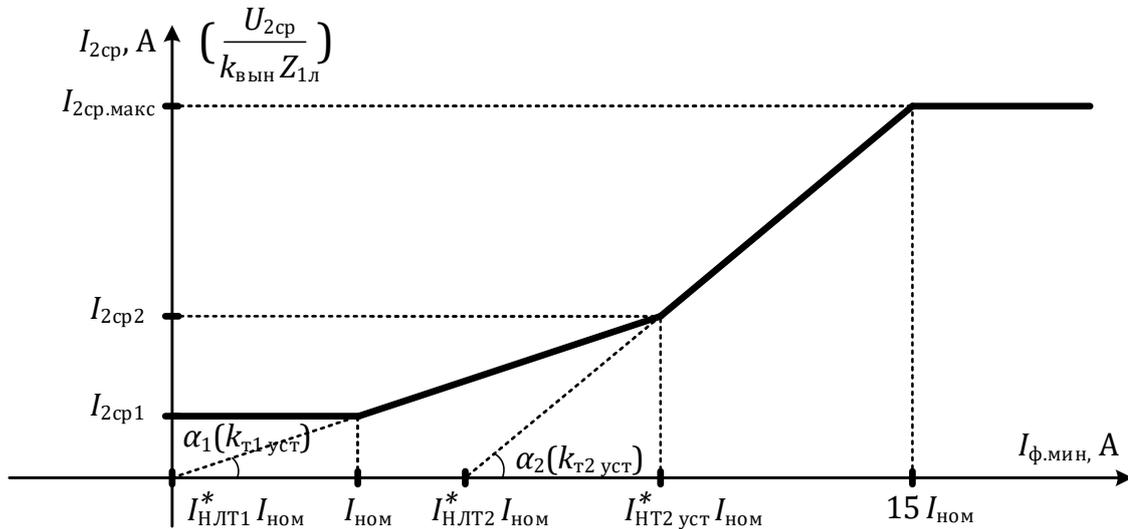


Рис. 37 – Характеристика торможения ПО  $U_{2\text{от}}$  без подведения к ПО напряжения

Сначала проверяется горизонтальный участок торможения на условие отстройки от суммарной величины напряжения небаланса:

$$U_{2\text{от уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot \left( U_{2\text{нб расч}} + I_{2\text{нб расч}}^{(\text{ном})} \cdot k_{\text{вын уст}} \cdot |Z_1| \right), \quad (57)$$

где  $I_{2\text{нб расч}}^{(\text{ном})}$  – расчетный ток небаланса по ОП, рассчитываемый по формуле (29) при токе  $I_{\text{раб макс}} = I_{\text{ном}}$ ;

$U_{2\text{нб расч}}$  – расчетное напряжение небаланса по ОП, рассчитываемое по формуле (47);

$k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, равный 2;

Если условие (57) не выполняется, то необходимо загрузить уставку  $U_{2\text{от уст}}$  до требуемого формулой (57) значения, чтобы поднять горизонтальный участок торможения характеристики (рисунок 37). После чего необходимо заново произвести корректировку  $k_{\text{вын уст}}$  согласно формуле (53).

Если условие (57) выполняется, необходимо выбрать уставки по коэффициентам торможения первого и второго участков характеристики торможения (рисунок 37).

Ток срабатывания ПО  $U_{2\text{от}}$  без подведения напряжения и без торможения, вычисляется по формуле:

$$I_{2\text{cp1}} = \frac{U_{2\text{от уст}}}{k_{\text{вын уст}} \cdot |Z_1|}. \quad (58)$$

При этом, согласно формулам (57) и (58) должно выполняться неравенство:

$$I_{2\text{cp1}} \geq k_{\text{отс}} \cdot \left( \frac{U_{2\text{нб расч}}}{k_{\text{вын уст}} \cdot |Z_1|} + I_{2\text{нб расч}}^{(\text{ном})} \right), \quad (59)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, равный 2.

Так как  $U_{2\text{нб расч}}$  рассчитывается для максимального рабочего напряжения в сети, то для наихудшего режима величина  $\frac{U_{2\text{нб расч}}}{k_{\text{вын уст}} \cdot |Z_1|}$  принимается постоянной величиной для любой точки на характеристике торможения.

Первый участок торможения соответствует работе ТТ, при которой полная погрешность ТТ  $\varepsilon$  не превышает паспортного значения, поэтому считается, что ток срабатывания по ОП для ПО, действующего на отключение, без подведения напряжения имеет линейную зависимость от фазного тока и с учетом формулы (29) может быть вычислен по формуле:

$$k_{\tau 1 \text{ уст}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{нб расч}} \quad (60)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, равный 2;

$k_{\text{нб расч}}$  – расчетный коэффициент небаланса в формуле (29).

Второй участок торможения соответствует работе ТТ в режиме насыщения и при расчетах для класса ТРХ принимается  $k_{\tau 2 \text{ уст}} = 0,45$ . В дальнейшем, при получении аварийных осциллограмм, может быть скорректирован в большую сторону.

Уставка  $I_{\text{НЛТ}2 \text{ уст}}^*$  по току начала торможения второго участка соответствует максимальной кратности тока, при которой полная погрешность ТТ  $\varepsilon$  не превышает паспортного значения. Принимается, что при кратностях тока выше  $I_{\text{НЛТ}2 \text{ уст}}^*$  погрешность соответствует режиму насыщения ТТ, а его вторичное напряжением выше напряжения предельной точности  $U_{\text{ал}}$  на ВАХ ТТ. Уставка  $I_{\text{НЛТ}2 \text{ уст}}^*$  выбирается как точка пересечения лучей первого и второго участков торможения исходящих из оси абсцисс (см. рисунок 37) согласно формуле:

$$I_{\text{НЛТ}2 \text{ уст}}^* = \frac{k_{\tau 2 \text{ уст}} \cdot I_{\text{НЛТ}2}^* - k_{\tau 1 \text{ уст}} \cdot I_{\text{НЛТ}1}^*}{k_{\tau 2 \text{ уст}} - k_{\tau 1 \text{ уст}}}.$$

Так как на первом участке торможения зависимость погрешности ТТ от тока линейная и при нулевом токе торможение должно отсутствовать, примем ток  $I_{\text{НЛТ}1}^* = 0$ . Тогда уставка по току начала торможения второго участка будет вычисляться по формуле:

$$I_{\text{НЛТ}2 \text{ уст}}^* = \frac{k_{\tau 2 \text{ уст}} \cdot I_{\text{НЛТ}2}^*}{k_{\tau 2 \text{ уст}} - k_{\tau 1 \text{ уст}}}, \quad (61)$$

где  $I_{\text{НЛТ}2}^*$  – кратность тока начала луча второго участка торможения, который обусловлен максимальными уравнительными токами в режиме асинхронных качаний и нагрузкой ТТ. Выбирается исходя из величины сопротивления во вторичной цепи ТТ.

**П р и м е ч а н и е** – Параметр остаточной намагниченности не учитывается, т.к. актуален только для автоматического повторного включения, но не режима качаний.

Сопротивление во вторичной цепи ТТ определяется как суммарное

$$R_2 = R_{\text{ТТ}} + R_{\text{нагр}},$$

где  $R_{\text{ТТ}}$  – активное сопротивление вторичной обмотки ТТ;

$R_{\text{нагр}}$  – активное сопротивление нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке ТТ.

Для текущего объекта рассчитывается суммарное сопротивление (в процентах от номинального) и по графику на рисунке 38 выбирается величина тока  $I_{\text{НЛТ}2}^*$ , которая затем подставляется в формулу (61) для вычисления тока  $I_{\text{НЛТ}2 \text{ уст}}^*$ .

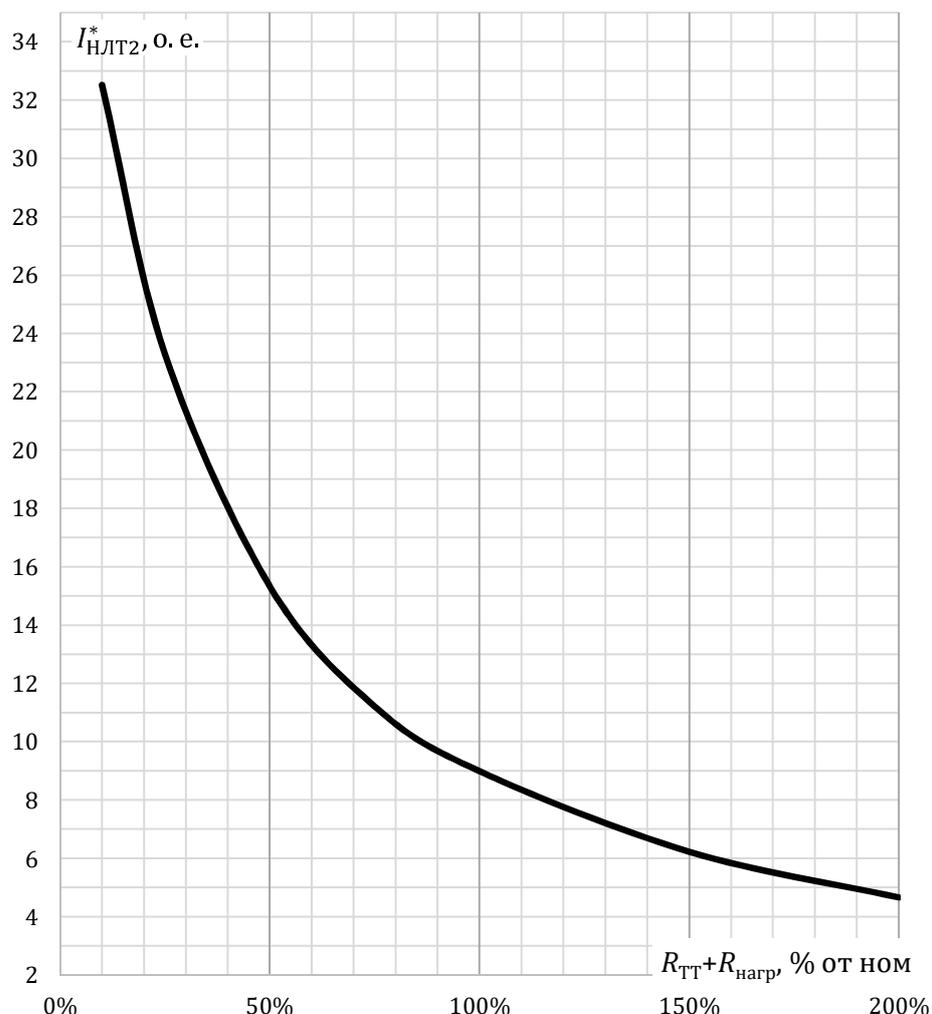


Рис. 38 – График зависимости рекомендуемой величины кратности тока начала луча торможения  $I_{НЛТ2}^*$  (точка пересечения с осью абсцисс) от сопротивления во вторичной цепи ТТ

### 5.2.2.3 Выбор уставки ПО с пуском по напряжению ОП, действующего на останов ВЧ при включении удаленного В ( $U_2$ вкл.УВ)

Рекомендации актуальны для расчета уставки [102301] Уср ПО  $U_2$  при вкл. удаленного В ( $U_{2 \text{ вкл УВ уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ 330-750 кВ.

Уставка обеспечивает порог срабатывания [015045] ПО  $U_2$  при вкл. удаленного В, который действует на формирование запрета пуска ВЧ на отключенном конце линии при включении выключателя удаленного конца на КЗ.

Уставка  $U_{2 \text{ вкл УВ уст}}$  рассчитывается для односторонне включенной линии по напряжению ОП на отключенном конце линии при однофазном КЗ на противоположном включенном конце линии.

$$U_{2 \text{ вкл УВ уст}} = \frac{U_{2 \text{ КЗ мин}}}{k_{\text{чув}}}, \quad (62)$$

где  $U_{2 \text{ КЗ мин}}$  – модуль напряжения по ОП на отключенном конце линии при удаленном КЗ на включенном конце линии.

$k_{\text{чув}}$  – коэффициент чувствительности выбирается равным 2.

## 5.2.3 Выбор уставок ПО с пуском по приращению вектора тока ОП (DI2)

### 5.2.3.1 Выбор уставки ПО с пуском по приращению вектора тока ОП, действующего на блокировку (DI2 бл)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103207] Icp ПО DI2, блокирующий ( $DI_{2 \text{ бл уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104207] Icp ПО DI2, блокирующий ( $DI_{2 \text{ бл уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ;
- [105203] Icp ПО DI2, блокирующий ( $DI_{2 \text{ бл уст}}$ ) из состава [105901] ВЧБ.

Данная уставка обеспечивает порог срабатывания [013003] ПО DI2, блокирующий, который используется в качестве основного ПО на линиях с тяговой нагрузкой.

ПО позволяет быстрее пускать ВЧ при несимметричных КЗ. Алгоритм органа обеспечивает отстройку от всех небалансов по току ОП при условии, что они не изменяются в течении периода промышленной частоты.

На линиях без тяговой нагрузки либо со сквозной тяговой нагрузкой (п. 5.1.12) уставка по току срабатывания ПО с пуском по приращению вектора тока ОП, действующий на блокировку рассчитывается по формуле:

$$DI_{2 \text{ бл уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \quad (63)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,84;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 1;

$I_{2 \text{ нб расч}}$  – расчетный ток небаланса по ОП, который рассчитывается по формуле (29) без учета тяговой нагрузки.

Для режимов частотной аварии, таких как качания и асинхронный ход, при которых ток ПП значительно изменяется в течение периода промышленной частоты, требуется отстройка уставки по току срабатывания ПО согласно формуле (в том числе для линий с тяговой нагрузкой):

$$DI_{2 \text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} \cdot \pi \cdot f_s \cdot I_{2 \text{ нб расч}}^{(\text{кач})} \cdot t_{\text{иц}}, \quad (64)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки принимается равным 1,2;

$f_s$  – частота скольжения в режиме частотной аварии;

$I_{1 \text{ кач макс}}$  – максимальный ток качаний (асинхронного хода) по ПП;

$I_{2 \text{ нб расч}}^{(\text{кач})}$  – расчетный ток небаланса по ОП, рассчитываемый по формуле (29) при токе  $I_{\text{раб макс}} = I_{1 \text{ кач макс}}$ ;

$t_{\text{иц}}$  – время задержки инерционной цепи пускового органа по приращению, равная 0,02 с.

**Примечание** – Расчётное условие (64) необходимо для случаев, когда на ЛЭП возможны асинхронные режимы. Определяющим режимом будет, асинхронный режим с расчётными максимальными значениями тока  $I_{1 \text{ кач макс}}$  и частоты скольжения  $f_s$ , предельное значение которой ограничивается 5 Гц. [16, 17]

Итоговая уставка по току выбирается равной максимальной из величин, вычисленных по формулам (63), (64) для линий подверженным качаниям и асинхронному ходу либо по формуле (63) для линий не подверженным таким явлениям.

На линии с тяговой сквозной нагрузкой, для уменьшения количества пусков защиты при внешних коммутациях со стороны тяговой подстанции может потребоваться заглубление уставки  $DI_{2 \text{ бл уст}}$  в соответствии с токами КЗ и среднестатистическими данными из полученных осциллограмм (см п. 5.2.3.2).

На линиях с ответвительной тяговой нагрузкой уставка по току должна отстраиваться от любых коммутаций тяговой нагрузки согласно формуле:

$$DI_{2 \text{ бл уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot I_{2 \text{ нагр отв макс}}}{k_{\text{в}}}, \quad (65)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 1;

$I_{2 \text{ нагр отв макс}}$  – максимальный ток нагрузки по ОП, текущий в ответвлении.

На линиях с ответвительной тяговой нагрузкой итоговая уставка по току выбирается равной максимальной из величин, вычисленных по формулам:

- (63), (64) и (65) – для линий подверженным качаниям и асинхронному ходу;
- (63) и (65) для линий не подверженным таким явлениям.

#### Проверка коэффициента чувствительности (для ВЧБ)

В схеме ВЧБ отсутствует ПО  $DI_{2 \text{ от}}$ , поэтому необходимо производить заглубление блокирующего ПО  $DI_{2 \text{ бл}}$ .

Коэффициент чувствительности  $k_{\text{ч}}$  не проверяется. Однако, для уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно заглубить уставку  $DI_{2 \text{ бл уст}}$  по формуле:

$$DI_{2 \text{ бл уст}} = 0,35 \cdot I_{2 \text{ КЗ мин}}^{(2)}, \quad (66)$$

где  $I_{2 \text{ КЗ мин}}^{(2)}$  – модуль минимального тока междуфазного КЗ в зоне действия защиты по ОП, измеренного в своем полукомплексе;

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом ёмкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при заглублении по формуле (66) вместо  $I_{2 \text{ КЗ мин}}$  можно брать величину  $(I_{2 \text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot I_{2 \text{ емк}})$ ,

где  $I_{2 \text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по ОП, который находится по формуле (56).

Органы по приращению по принципу действия чувствительны к любым коммутациям в сети, в том числе к отключениям внешней нагрузки и реверсу мощности, поэтому в ходе эксплуатации возможна корректировка заглубления уставки  $DI_{2 \text{ бл уст}}$  в соответствии со среднестатистическими данными из полученных аварийных осциллограмм.

**Примечание** – Под коммутациями подразумевается включение, отключение и переключение нагрузки. Частота таких операций особенно велика в тяговых сетях из-за постоянных троганий и прохождения нейтральной вставки электровозами.

#### 5.2.3.2 Выбор уставки ПО с пуском по приращению вектора тока ОП, действующего на отключение (DI2 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103208] Icp ПО DI2, отключающий ( $DI_{2 \text{ от уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ
- [104208] Icp ПО DI2, отключающий ( $DI_{2 \text{ от уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ.

Данная уставка обеспечивает порог срабатывания **[013004] ПО DI2, отключающий**, который используется в качестве основного ПО на линиях с тяговой нагрузкой.

Для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность блокирующего ПО (п. 5.2.3.1), действующего на пуск ВЧ сигнала на удаленном конце линии, была выше чувствительности ПО, действующего на отключение на своем конце линии.

Уставка  $DI_{2 \text{ от уст}}$  рассчитывается по формуле:

$$DI_{2 \text{ от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{2 \text{ бл уст удал}} \quad (67)$$

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

$DI_{2 \text{ бл уст удал}}$  – уставка п/к удаленного конца линии, рассчитываемая по формуле (63):

**[103207] Иср ПО DI2, блокирующий** из состава **[103901] ДФЗ** или **[104207] Иср ПО DI2, блокирующий** из состава **[104901] НВЧЗ**.

### Отстройка от составляющей ОП емкостного тока линии при ТАПВ или ОЛ

Отстройка от составляющей ОП емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при одновременности включения фаз выключателя, не производится для ВЧЗ в которой при указанных операциях осуществляется пуск сплошного или манипулированного ВЧ сигнала (п. 5.1.9). Если пуск ВЧ сигнала не осуществляется, отстройка необходима в случаях:

- работы ВЧЗ в режиме с постоянно выведенной КЕТ;
- если ВЧЗ не имеет функции КЕТ.

**Примечание** – Функция КЕТ может быть выведена при помощи соответствующей программной накладки, либо при помощи зануления параметров линии, участвующих в формуле расчета емкостного тока линии. Автоматический вывод КЕТ при срабатывании БНН сюда не относится.

При задействованной КЕТ:

- в **НВЧЗ 330-750 кВ** и **ДФЗ 330-750 кВ** отстройка **[013004] ПО DI2, отключающий** не требуется, т.к. от устройства КЕТ происходит срабатывание **[104207] Иср ПО DI2, блокирующий** с действием на **[103001] Разр. ОМ** (пуск манипулированного ВЧ сигнала) в течение 0,15 с. Даже если в одном или обоих п/к произойдет срабатывание отключающих органов, положение ВЧ пакетов двух концов в ВЧ тракте будет соответствовать внешнему КЗ и действие на отключение не произойдет.

Для отстройки от емкостного тока линии при ТАПВ или ОЛ в устройстве с выведенной КЕТ уставка  $I_{2 \text{ от уст}}$  должна удовлетворять неравенству:

$$DI_{2 \text{ от уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{\text{ф емк}}}{3}, \quad (68)$$

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

$I_{\text{ф емк}}$  – емкостный фазный ток линии в установившемся режиме, который рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{ф емк}} = b_{1 \text{ уст}} \cdot L_{\text{л уст}} \cdot U_{\text{ф ном}}, \quad (69)$$

где  $U_{\text{ф ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии;

$b_{1 \text{ уст}}$  – уставка **[050342] Удельная проводимость линии по ПП ( $b1 \cdot 10^{-6}$ )**;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка **[050341] Длина линии (Лл)**.

### Проверка коэффициента чувствительности

Коэффициент чувствительности  $k_{\text{ч}}$  не проверяется. Однако, для уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставки  $DI_{2 \text{ от уст}}$  и  $DI_{2 \text{ бл уст}}$  по формулам:

$$DI_{2 \text{ от уст}} = 0,35 \cdot I_{2 \text{ КЗ мин}}, \quad (70)$$

$$DI_{2 \text{ бл уст}} = \frac{DI_{2 \text{ от уст}}}{2}, \quad (71)$$

где  $I_{2 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока несимметричного КЗ в зоне действия защиты по ОП, измеренного в своем полуконтакте.

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом ёмкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при загрузлении по формуле (70) вместо  $I_{2 \text{ КЗ мин}}$  можно брать величину  $(I_{2 \text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot I_{2 \text{ емк}})$ ,

где  $I_{2 \text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по ОП, который находится по формуле (56).

**Примечание** – При расчете с учетом емкостного тока вывод КЕТ (в т.ч. автоматический) для ПО или устройства в целом приведет к повышению чувствительности, что нежелательно при внешних КЗ. Поэтому для ДФЗ 330-750 кВ производится автоматическое загрузление в соответствии с формулой (23). В НВЧЗ на все классы напряжения ПО по току используется совместно с ИО направления мощности, который блокируется при НЦН и автоматическом выводе КЕТ.

Органы по приращению по принципу действия чувствительны к любым коммутациям в сети, в том числе к отключениям внешней нагрузки и реверсу мощности, поэтому в ходе эксплуатации возможна корректировка загрузления уставок  $DI_{2 \text{ от уст}}$  и  $DI_{2 \text{ бл уст}}$  в соответствии со среднестатистическими данными из полученных аварийных осциллограмм.

**Примечание** – Под коммутациями подразумевается включение, отключение и переключение нагрузки. Частота таких операций особенно велика в тяговых сетях из-за постоянных троганий и прохождений нейтральной вставки электровозом.

## 5.2.4 Выбор уставок ПО с пуском по приращению вектора тока ПП (DI1)

### 5.2.4.1 Выбор уставки органа с пуском по приращению вектора тока ПП, действующего на блокировку (DI1 бл)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103209] Иср ПО DI1, блокирующий ( $DI_{1 \text{ бл уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104209] Иср ПО DI1, блокирующий ( $DI_{1 \text{ бл уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ;
- [105204] Иср ПО DI1, блокирующий ( $DI_{1 \text{ бл уст}}$ ) из состава [105901] ВЧБ.

Данная уставка обеспечивает порог срабатывания [013001] ПО DI1, блокирующий, который используется в качестве основного ПО на линиях с тяговой сквозной нагрузкой.

ПО позволяет быстрее пускать ВЧ при симметричных КЗ. Алгоритм органа обеспечивает отстройку от всех небалансов по току ПП при условии, что они не изменяются в течении периода промышленной частоты. Для режимов частотной аварии, таких как качания и асинхронный ход, при которых ток ПП значительно изменяется в течение периода промышленной частоты, требуется отстройка уставки по току срабатывания ПО согласно формуле (в том числе для линий с тяговой нагрузкой):

$$DI_{1 \text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{1 \text{ кач макс}} \cdot \pi \cdot f_s \cdot t_{\text{ИЦ}}, \quad (72)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки принимается равным 1,2;

$f_s$  – частота скольжения в режиме частотной аварии от 0 до  $f_{s \text{ пред}}$ ;

$I_{1 \text{ кач макс}}$  – максимальный ток качаний (асинхронного хода) по ПП;

$t_{иц}$  – время задержки инерционной цепи пускового органа по приращению, равная 0,02 с.

Предельная частота скольжения, для которой справедлива формула (72), равна  $f_{s \text{ пред}} = 5$  Гц. При частоте скольжения выше  $f_{s \text{ пред}}$  зависимость принимает синусоидальный характер и расчетная формула записывается через комплексную экспоненту:

$$DI_{1 \text{ бл уст}} = k_{отс} \cdot I_{1 \text{ кач макс}} \cdot \frac{|1 - e^{j2\pi f_s t_{иц}}|}{2}, \quad (73)$$

На линиях, на которых не бывает качаний и асинхронного хода уставка по току рассчитывается по формуле (в том числе для линий со сквозной тяговой нагрузкой):

$$DI_{1 \text{ бл уст}} = k_{отс} \cdot DI_{2 \text{ бл уст}}, \quad (74)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 4;

$DI_{2 \text{ бл уст}}$  – уставка рассчитываемая по формуле (63): **[103207] Icp ПО DI2, блокирующий** из состава **[103901] ДФЗ** или **[104207] Icp ПО DI2, блокирующий** из состава **[104901] НВЧЗ**.

На линии с тяговой сквозной нагрузкой (п. 5.1.12) возможны излишние срабатывания ПО при внешних коммутациях со стороны тяговой подстанции. Для уменьшения количества пусков ВЧ сигнала может потребоваться загрузка уставки  $DI_{1 \text{ бл уст}}$  в соответствии с полученными осциллограммами.

На линиях с ответвительной тяговой нагрузкой уставка по току должна дополнительно отстраиваться от коммутаций тяговой нагрузки согласно формуле:

$$DI_{1 \text{ бл уст}} = \frac{k_{отс} \cdot I_{1 \text{ нагр отв макс}}}{k_{в}}, \quad (75)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{в}$  – коэффициент возврата ПО, равный 1;

$I_{1 \text{ нагр отв макс}}$  – максимальный ток нагрузки по ПП, текущий в ответвлении.

На линиях с ответвительной тяговой нагрузкой итоговая уставка по току выбирается равной максимальной из величин, вычисленных по формулам (72) и (75) для линий подверженным качаниям и асинхронному ходу либо по формулам (74) и (75) для линий не подверженным таким явлениям.

### Проверка коэффициента чувствительности (для ВЧБ)

В схеме ВЧБ отсутствует ПО  $DI_{1 \text{ от}}$ , поэтому необходимо производить загрузка блокирующего ПО  $DI_{1 \text{ бл}}$ .

Коэффициент чувствительности  $k_{ч}$  не проверяется. Однако, для уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставку  $DI_{1 \text{ бл уст}}$  по формуле:

$$DI_{1 \text{ бл уст}} = 0,35 \cdot I_{1 \text{ КЗ мин}}, \quad (76)$$

где  $I_{1 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока симметричного КЗ в зоне действия защиты по ПП, измеренного в своем полуккомплекте.

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при загрузке по формуле (76) вместо  $I_{1 \text{ КЗ мин}}$  можно брать величину  $(I_{1 \text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot I_{1 \text{ емк}})$ ,

где  $I_{1 \text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по ПП, который находится по формуле (116).

Органы по приращению по принципу действия чувствительны к любым коммутациям в сети, в том числе к отключениям внешней нагрузки и реверсу мощности, поэтому в ходе эксплуатации возможна корректировка заградления уставок  $DI_{1 \text{ от уст}}$  и  $DI_{1 \text{ бл уст}}$  в соответствии со среднестатистическими данными из полученных аварийных осциллограмм.

**Примечание** – Под коммутациями подразумевается включение, отключение и переключение нагрузки. Частота таких операций особенно велика в тяговых сетях из-за постоянных троганий и проходов нейтральной вставки электровозом.

#### 5.2.4.2 Выбор уставки органа с пуском по приращению вектора тока ПП, действующего на отключение (DI1 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103210] **Иср ПО DI1, отключающий** ( $DI_{1 \text{ от уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104210] **Иср ПО DI1, отключающий** ( $DI_{1 \text{ от уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ.

Данная уставка обеспечивает порог срабатывания [013002] **ПО DI1, отключающий**, который используется в качестве основного ПО на линиях с тяговой сквозной нагрузкой.

Для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность блокирующего ПО (п. 5.2.4.1), действующего на пуск ВЧ сигнала на удаленном конце линии, была выше чувствительности ПО, действующего на отключение на «своем» конце линии.

Уставка  $DI_{1 \text{ от уст}}$  рассчитывается по формуле:

$$DI_{1 \text{ от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot DI_{1 \text{ бл уст удал}} \quad (77)$$

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

$DI_{1 \text{ бл уст удал}}$  – уставка п/к удаленного конца линии, рассчитываемая по формуле (72): [103209] **Иср ПО DI1, блокирующий** из состава [103901] ДФЗ или [104209] **Иср ПО DI1, блокирующий** из состава [104901] НВЧЗ.

#### Проверка коэффициента чувствительности

Коэффициент чувствительности  $k_{\text{ч}}$  не проверяется. Однако, для уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно заградить уставки  $DI_{1 \text{ от уст}}$  и  $DI_{1 \text{ бл уст}}$  по формулам:

$$DI_{1 \text{ от уст}} = 0,35 \cdot I_{1 \text{ КЗ мин}} \quad (78)$$

$$DI_{1 \text{ бл уст}} = \frac{DI_{1 \text{ от уст}}}{2}, \quad (79)$$

где  $I_{1 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока симметричного КЗ в зоне действия защиты по ПП, измеренного в своем полуккомплекте.

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при заградлении по формуле (78) вместо  $I_{1 \text{ КЗ мин}}$  можно брать величину ( $I_{1 \text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot I_{1 \text{ емк}}$ ),

где  $I_{1 \text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по ПП, который находится по формуле (116).

**Примечание** – При расчете с учетом ёмкостного тока вывод КЕТ (в т.ч. автоматический) для ПО или устройства в целом приведет к повышению чувствительности, что нежелательно при внешних КЗ. Поэтому для ДФЗ 330-750 кВ производится

автоматическое загрубление в соответствии с формулой (24). В НВЧЗ на все классы напряжения ПО по току используется совместно с ИО направления мощности, который блокируется при НЦН и автоматическом выводе КЕТ.

Органы по приращению по принципу действия чувствительны к любым коммутациям в сети, в том числе к отключениям внешней нагрузки и реверсу мощности, поэтому в ходе эксплуатации возможна корректировка загрубления уставок  $DI_{1\text{от уст}}$  и  $DI_{1\text{ бл уст}}$  в соответствии со среднестатистическими данными из полученных аварийных осциллограмм.

**Примечание** – Под коммутациями подразумевается включение, отключение и переключение нагрузки. Частота таких операций особенно велика в тяговых сетях из-за постоянных троганий и прохождений нейтральной вставки электровозом.

## 5.2.5 Выбор уставок ПО с пуском по току НП (3I0)

### 5.2.5.1 Выбор уставки ПО с пуском по току НП, действующего на блокировку (3I0 бл)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103201] **Иср ПО 3I0, блокирующий** ( $3I_{0\text{ бл уст}}$ ) из состава [103901] **ДФЗ**;
- [105201] **Иср ПО 3I0, блокирующий** ( $3I_{0\text{ бл уст}}$ ) из состава [105901] **ВЧБ**.

В **ДФЗ** уставка обеспечивает порог срабатывания [012009] **ПО 3I0, блокирующий**, который вводится в работу для продления кратковременного действия [013003] **ПО DI2, блокирующий** и [013001] **ПО DI1, блокирующий** в цепи пуска ВЧ на линиях с тяговой нагрузкой. Во всех остальных случаях ввод в работу ПО по НП не рекомендуется, так как может возникнуть ситуация, при которой пуск ОМ будет произведен исключительно по НП, а тока ОП будет недостаточно для надежной манипуляции, что может привести к отказу ДФЗ при КЗ в зоне действия защиты.

**Примечание** – Следует иметь в виду, что нехватка чувствительности по ОП для ОМ всегда означает расширение зоны блокирования ДФЗ, поэтому ввод дополнительных условий пуска имеет смысл только для подхвата основных пусковых органов по ОП. В противном случае должен быть выбран другой вид ВЧЗ - высокочастотная блокировка (ВЧБ) с пусковыми органами по НП.

На рисунке 39 показан предельный случай пуска ДФЗ по НП, когда ток ОП в защите 2, установленной на конце линии без питания, равен нулю. При слабом источнике питания может возникнуть схожая ситуация, когда тока ОП будет недостаточно для манипуляции и паузы в ВЧ сигнале будут соответствовать расположению векторов в зоне блокировки. Для тупиковых линий и линий со слабым питанием наиболее предпочтительным видом ВЧЗ является ВЧБ (п. 5.1.11).

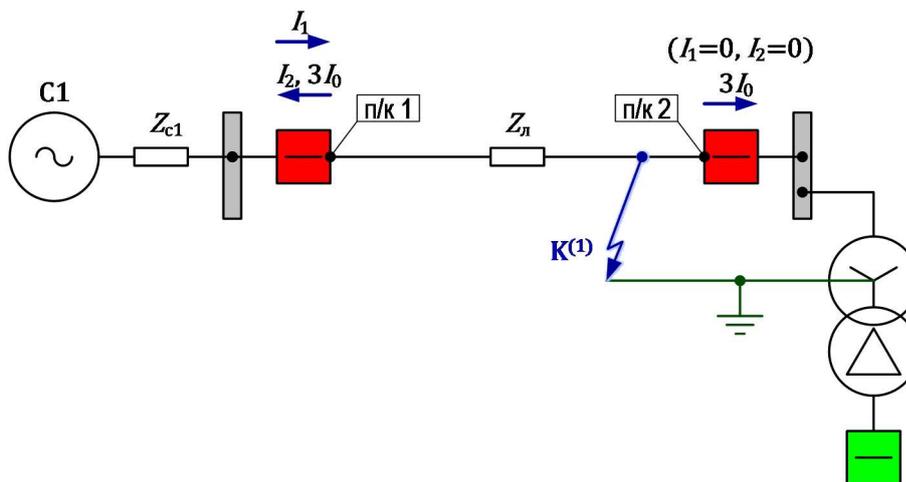


Рис. 39 – Пуск ДФЗ на тупиковом конце ненагруженной линии по току НП однофазного КЗ текущему через заземленную нейтраль трансформатора

В ВЧБ уставка обеспечивает порог срабатывания [012009] ПО 3I0, блокирующий, который используется в качестве основного и единственного ПО, действующего на пуск ВЧ при однофазных и двухфазных КЗ на землю.

Уставка  $3I_{0 \text{ бл уст}}$  органа с пуском по току НП, действующего на блокировку, выбирается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ и небалансами нагрузочного режима сети.

$$3I_{0 \text{ бл уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \tag{80}$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

$3I_{0 \text{ нб расч}}$  – расчетный ток небаланса по НП, который рассчитывается по формуле:

$$3I_{0 \text{ нб расч}} = I_{\text{раб макс}} \cdot \sqrt{k_{0 \text{ сети}}^2 + \varepsilon^2} = 0,0361 \cdot I_{\text{раб макс}}, \tag{81}$$

где  $I_{\text{раб макс}}$  – модуль максимального рабочего тока, выбирается наибольший из двух токов, протекающих через полуккомплекты защит по концам линии;

$k_{0 \text{ сети}}$  – коэффициент несимметрии тока в первичной сети по НП, принимается равным 0,02;

$\varepsilon$  – полная погрешность ТТ при номинальном первичном токе принимается равной 0,01 для класса точности 5Р и 0,03 для класса точности 10Р, согласно ГОСТ 7746-2001.

### 5.2.5.2 Выбор уставки ПО с пуском по току НП, действующего на отключение (3I0 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103202] Иср ПО 3I0, отключающий ( $3I_{0 \text{ от уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [105202] Иср ПО 3I0, отключающий ( $3I_{0 \text{ от уст}}$ ) из состава [105901] ВЧБ.

В ДФЗ уставка обеспечивает пороги срабатывания [012010] ПО 3I0, отключающий, который вводится в работу для продления кратковременного действия [013004] ПО DI2, отключающий и [013002] ПО DI1, отключающий в цепи отключения на линиях с тяговой нагрузкой.

В ВЧБ уставка обеспечивает порог срабатывания [012010] ПО 3I0, отключающий, действующего на отключение при однофазных и двухфазных КЗ на землю.

Для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность блокирующего ПО (п. 5.2.5.1), действующего на пуск ВЧ сигнала, была выше чувствительности ПО, действующего на отключение.

Уставка  $3I_{0 \text{ от уст}}$  рассчитывается по формуле:

$$3I_{0 \text{ от уст}} = k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ бл уст}}, \quad (82)$$

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

$3I_{0 \text{ бл уст}}$  – уставка удаленного конца линии, рассчитываемая по формуле (80):

**[103201] Иср ПО 3I0, блокирующий** из состава **[103901] ДФЗ** или **[105201] Иср ПО 3I0, блокирующий** из состава **[105901] ВЧБ**.

### Отстройка от составляющей НП емкостного тока линии при ТАПВ или ОЛ

Отстройка от составляющей НП емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при одновременности включения фаз выключателя, производится в ДФЗ для которой при указанных операциях не осуществляется пуск сплошного ВЧ сигнала и в ДФЗ не имеющей КЕТ или с выведенной функцией КЕТ (п. 5.1.9).

**П р и м е ч а н и е** – Функция КЕТ может быть выведена при помощи соответствующей программной накладки, либо при помощи зануления параметров линии, участвующих в формуле расчета емкостного тока линии. Автоматический вывод КЕТ при срабатывании БНН сюда не относится.

Для отстройки от емкостного тока линии при ТАПВ или ОЛ уставка  $3I_{0 \text{ от уст}}$  должна удовлетворять неравенству:

$$3I_{0 \text{ от уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ф емк}}, \quad (83)$$

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

$I_{\text{ф емк}}$  – емкостный фазный ток линии в установившемся режиме, который рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{ф емк}} = b_{0 \text{ уст}} \cdot L_{\text{л уст}} \cdot U_{\text{ф ном}}, \quad (84)$$

где  $U_{\text{ф ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии;

$b_{0 \text{ уст}}$  – уставка [050345] Удельная проводимость линии по НП ( $b_0 \cdot 10^{-6}$ );

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Lл).

В случае, если отстройка от составляющей НП емкостного тока в п/к **[105901] ВЧБ** стороны линии, включающейся первой, не представляется возможной, в логике предусмотрена блокировка при включении выключателя ПО/ИО по НП (п. 5.2.12.2).

### Отстройка от броска намагничивающего тока при включении трансформатора

Отстройка от аperiodических бросков тока намагничивания (БТН) при включении трансформатора на ответвлении **не требуется**, так как производится в логике контролирующими органами, которые разрешают действие отключающих органов в канал отключения при работе на ВЛ с ответвлениями и которые должны быть отстроены от БТН уставками или специальным **[011006] ПО БТНТ**, срабатывающим при БТН.

### Отстройка от небаланса при близких внешних симметричных КЗ или качаниях (только для [105901] ВЧБ)

Отстройка производится для каждого п/к по измеренному в своем полукомплекте току близкого внешнего симметричного КЗ или по максимальному уравнительному току в режимах частотной аварии, таких как качания и асинхронный ход:

$$3I_{0 \text{ от уст}} \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ нб расч}}^{(3),(\text{кач})}, \quad (85)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки принимается равным 1,2;

$3I_{0 \text{ нб расч}}^{(3),(\text{кач})}$  – расчетный ток небаланса по НП при близких внешних симметричных КЗ или качаниях, который рассчитывается по формуле:

$$3I_{0 \text{ нб расч}}^{(3),(\text{кач})} = \varepsilon \cdot I_{1 \text{ макс}}, \quad (86)$$

где  $\varepsilon$  – полная погрешность ТТ при токе номинальной предельной кратности принимается равной 0,05 для класса точности 5Р и 0,1 для класса точности 10Р, согласно ГОСТ 7746-2001;

$I_{1 \text{ макс}}$  – модуль максимального тока по ПП при близких внешних симметричных КЗ или качаниях.

#### Проверка коэффициента чувствительности

Проверка чувствительности ПО действующего на отключение, производится для каждого п/к по измеренному в своем полукомплекте току КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полукомплекта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного ответвления:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ мин}}}{3I_{0 \text{ от уст}}}, \quad (87)$$

где  $3I_{0 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока несимметричного КЗ на землю в зоне действия защиты по НП, измеренного в своем полукомплекте;

$3I_{0 \text{ от уст}}$  – уставка [103202] **Исп ПО 3I0, отключающий**.

Требуемое значение коэффициента чувствительности равно 2.

Если  $k_{\text{ч}} > 2$ , то для повышения селективности и уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставки  $3I_{0 \text{ от уст}}$  и  $3I_{0 \text{ бл уст}}$  в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности по формулам:

$$3I_{0 \text{ от уст}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ мин}}}{2}, \quad (88)$$

$$3I_{0 \text{ бл уст}} = \frac{3I_{0 \text{ от уст}}}{2}, \quad (89)$$

Загружение уставок в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности повышает селективность защиты при внешних КЗ для случаев с неодинаковыми направлениями векторов тока небаланса НП по концам линии. В таком случае, есть вероятность, что вследствие наложения тока небаланса НП на аварийный ток НП, результирующий ток НП станет ниже порога блокирующего ПО только на том конце линии, для которого КЗ за спиной.

Если  $k_{\text{ч}} < 2$ , то:

Для [103901] **ДФЗ** 110-330 кВ допускается снижение коэффициента отстройки в формуле (83) до значения 1,7, после чего снова проверяется отстройка от емкостного тока и чувствительность.

Для **[105901] ВЧБ** 110-330 кВ необходимо ввести в работу **[015006] ПО 3U0, откл.** (п. 5.2.6.2).

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при расчетах в формулах (87) и (88) вместо  $3I_{0\text{ КЗ мин}}$  можно брать величину  $(3I_{0\text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot 3I_{0\text{ емк}})$ ,

где  $3I_{0\text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по НП, который находится по формуле:

$$3I_{0\text{ емк}} = L_{\text{л уст}} \cdot b_{0\text{ уст}} \cdot 3U_{0\text{ КЗ мин}}, \quad (90)$$

где  $b_{0\text{ уст}}$  – уставка [050345] Удельная проводимость линии по НП ( $b_0 \cdot 10^{-6}$ );

$3U_{0\text{ КЗ мин}}$  – напряжение КЗ по НП в режиме с током  $3I_{0\text{ КЗ мин}}$ ;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка **[050341] Длина линии (Лл)**.

**Примечание** – Следует учитывать, что при расчете с учетом емкостного тока вывод КЕТ (в т.ч. автоматический) для ПО или устройства в целом приведет к повышению чувствительности, что нежелательно при внешних КЗ.

### 5.2.5.3 Выбор уставки по току ИО направления мощности НП, действующего на разрешение в канале отключения и в канале выявления повреждений на ответвлении (M0 разр) и уставки ПО с пуском по току НП выявления повреждений на ответвлении (3I0 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок РНМ:

- **[103311] Иср ИО M0, разрешающий** ( $3I_{0\text{ M0 разр уст}}$ ) из состава **[103901] ДФЗ** 110-220 кВ без КСЗ;
- **[105258] Иср ИО M0, разрешающий** ( $3I_{0\text{ M0 разр уст}}$ ) из состава **[105901] ВЧБ** без КСЗ;
- **[108252] Иср ИО M0, разрешающий** ( $3I_{0\text{ M0 разр уст}}$ ) из состава **[108901] ТНЗНП**, если КСЗ входит в состав программного обеспечения терминала.

Все перечисленные уставки обеспечивают порог срабатывания **[011001] ИО M0, разрешающий**, который используется в логике **ДФЗ** для разрешения отключения однофазных КЗ на землю на линиях с ответвлениями, в логике **ВЧБ** – для разрешения действия **[012010] ПО 3I0, отключающий** в канал отключения, в логике **ТНЗНП** – опционально для разрешения действия ступеней.

**Примечание** – Разрешающий ИО направления мощности используется преимущественно для выявления однофазных КЗ, тогда как междуфазные КЗ на землю в логике выявления повреждения на ответвлении контролируются с помощью ИО сопротивления от междуфазных КЗ.

Рекомендации актуальны также для расчета уставки **[104206] Иср ПО 3I0, отключающий** ( $3I_{0\text{ от уст}}$ ) из состава **[104901] НВЧЗ** 110-220 кВ. Уставка обеспечивает порог срабатывание **[012010] ПО 3I0, отключающий**, служащий в логике **НВЧЗ** для разрешения отключения однофазных КЗ на землю на линиях с ответвлениями.

Уставка по току  $3I_{0\text{ M0 разр уст}}$  разрешающего ИО направления мощности НП и уставка  $3I_{0\text{ от уст}}$  ПО тока НП выбираются исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ и небалансами нагрузочного режима сети.

$$3I_{0\text{ M0 разр уст}} = 3I_{0\text{ от уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0\text{ нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \quad (91)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

$3I_{0\text{ нб расч}}$  – расчетный ток небаланса по НП, который рассчитывается по формуле (81).

### Отстройка от броска намагничивающего тока при включении трансформатора

Отстройка от апериодических бросков тока намагничивания (БТН) при включении трансформатора на ответвлении **не требуется**, так как производится в логике специальным [011006] ПО БТНТ, срабатывающим при БТН.

**Проверка чувствительности по отношению к органам, действие которых ИО мощности и ПО по току разрешают**

Уставка по току  $3I_{0\text{ МО разр уст}}$  разрешающего ИО направления мощности НП и уставка  $3I_{0\text{ от уст}}$  ПО тока НП, должны быть более чувствительные, чем уставка самого чувствительного органа, действие которого они разрешают:

$$3I_{0\text{ МО разр уст}} \leq \frac{\min(3I_{0\text{ ПО1 уст}}, \dots, 3I_{0\text{ ПОн уст}})}{k_{\text{чув}}}, \quad (92)$$

$$3I_{0\text{ от уст}} \leq \frac{\min(3I_{0\text{ ПО1 уст}}, \dots, 3I_{0\text{ ПОн уст}})}{k_{\text{чув}}}, \quad (93)$$

где  $k_{\text{чув}}$  – коэффициент чувствительности выбирается равным 1,2;

$3I_{0\text{ ПОн уст}}$  – выраженная в масштабе НП уставка ПО n, действие которого разрешается ИО направления мощности НП и служащего для определения однофазных КЗ на землю:

- В **ДФЗ** ИО направления мощности НП используется только на линиях с ответвлениями (выбирается накладкой [103401] **XB1\_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями**). Если соответствующая режиму с ответвлениями накладка активирована берется уставка органа: [012008] **ПО I2, отключающий** на линиях без тяговой нагрузки и [012010] **ПО 3I0, отключающий** на линиях с тяговой нагрузкой (выбирается накладкой [103403] **XB3\_ДФЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой**). В первом случае уставка ПО с пуском по ОП пересчитывается в уставку по НП согласно формуле:

$$3I_{0\text{ ПО I2от уст}} = 3 \cdot I_{2\text{ от уст}}, \quad (94)$$

где  $I_{2\text{ от уст}}$  – уставка [103204] **Icr ПО I2, отключающий** (п. 5.2.1.2), которая должна удовлетворять требованиям чувствительности к однофазным КЗ на защищаемой линии.

**Примечание** – Уставка ПО с пуском по ОП пересчитывается в уставку ПО с пуском по НП, так как обе уставки выбираются исходя из минимального тока КЗ, который соответствует току однофазного КЗ на удаленном конце линии.

- В **ВЧБ** берется уставка органа [012010] **ПО 3I0, отключающий**.
- В **ТНЗНП** берется уставка самой чувствительной ступени, которая задействована в защите и у которой активирован контроль от разрешающего ИО мощности соответствующей накладкой: [108353] **XB3\_ТЗ Контр. направленности I ст. ТНЗНП** и т.д.
- В **НВЧЗ** орган с пуском по току НП используется только на линиях с ответвлениями (выбирается накладкой [104351] **XB1\_НВЧЗ Работа на ВЛ с ответвлениями**). Если соответствующая режиму с ответвлениями накладка активирована берется уставка органа: [012008] **ПО I2, отключающий** на линиях без тяговой нагрузки и [013004] **ПО DI2, отключающий** на линиях с тяговой нагрузкой (выбирается накладкой [104353] **XB3\_НВЧЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой**). В первом случае уставка ПО с пуском по ОП пересчитывается в уставку по НП согласно формуле:

$$3I_{0\text{ ПО I2от уст}} = 3 \cdot I_{2\text{ от уст}}, \quad (95)$$

где  $I_{2\text{ от уст}}$  – уставка [104202] **Icr ПО I2, отключающий** (п. 5.2.1.2), которая должна удовлетворять требованиям чувствительности к однофазным КЗ на защищаемой линии.

- Аналогично во втором случае уставка ПО по приращению вектора тока ОП пересчитывается в уставку по НП согласно формуле:

$$3I_{0 \text{ ПО } DI2 \text{ от уст}} = 3 \cdot DI2_{\text{от уст}}, \quad (96)$$

где  $I_{2 \text{ от уст}}$  – уставка **[104208] Иср ПО DI2, отключающий** (п. 5.2.3.2), которая должна удовлетворять требованиям чувствительности к однофазным КЗ на защищаемой линии.

#### 5.2.5.4 Выбор уставки ПО с пуском по току НП, действующего на отключение при включении выключателя (3I0 вкл.В)

Рекомендации актуальны для расчета уставки **[104206] Иср ПО 3I0, отключающий** ( $3I_{0 \text{ вкл В уст}}$ ) из состава **[104901] НВЧЗ 330-750 кВ**. Уставка обеспечивает порог срабатывания **[012010] ПО 3I0, отключающий**, который действует на отключение при включении выключателя в специальной логике ОТФ при опробовании.

ПО по току НП используется для повышения надежности защиты в режиме опробования с включением на однофазное КЗ, когда может иметь место резонанс токов в схеме НП и как следствие отказ ПО с пуском по току ОП.

Уставка  $3I_{0 \text{ вкл В уст}}$  рассчитывается по току НП при опробовании конца линии на котором установлен рассматриваемый п/к при однофазном КЗ на противоположном отключенном конце линии.

$$3I_{0 \text{ вкл В уст}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ мин}}}{k_{\text{чув}}}, \quad (97)$$

где  $3I_{0 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального тока несимметричного КЗ на землю по НП при ОП.

$k_{\text{чув}}$  – коэффициент чувствительности выбирается равным 2.

#### 5.2.6 Выбор уставок ПО с пуском по напряжению НП (3U0)

##### 5.2.6.1 Выбор уставки по напряжению ИО направления мощности НП, действующего на разрешение в канале отключения и в канале выявления повреждений на ответвлении (M0 разр)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- **[103312] Уср ИО M0, разрешающий** ( $3U_{0 \text{ M0 разр уст}}$ ) из состава **[103901] ДФЗ 110-220 кВ без КСЗ**;
- **[105259] Уср ИО M0, разрешающий** ( $3U_{0 \text{ M0 разр уст}}$ ) из состава **[105901] ВЧБ без КСЗ**;
- **[108254] Уср ИО M0, разрешающий** ( $3U_{0 \text{ M0 разр уст}}$ ) из состава **[108901] ТНЗНП**, если КСЗ входит в состав программного обеспечения терминала.

Все перечисленные уставки обеспечивают порог срабатывания **[011001] ИО M0, разрешающий**, который используется в логике **ДФЗ** для разрешения отключения однофазных КЗ на землю на линиях с ответвлениями, в логике **ВЧБ** – для разрешения действия **[012010] ПО 3I0, отключающий** в канал отключения, в логике **ТНЗНП** – опционально для разрешения действия ступеней.

Примечание – Разрешающий ИО направления мощности используется преимущественно для выявления однофазных КЗ, тогда как междуфазные КЗ на землю в логике выявления повреждения на ответвлении контролируются с помощью ИО сопротивления от междуфазных КЗ.

Следует иметь в виду, что уставка  $3U_{0 \text{ M0 разр уст}}$  имеет во вторичных величинах масштаб междуфазных величин, не зависимо от положения программной накладки **[050273] Напряжение 3U0**.

Уставка по напряжению  $3U_{0 \text{ МО разр уст}}$  разрешающего ИО направления мощности НП выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса, определяемого погрешностями ТН и небалансами нагрузочного режима сети.

$$3U_{0 \text{ МО разр уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot 3U_{0 \text{ нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \quad (98)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

$3U_{0 \text{ нб расч}}$  – расчетное напряжение небаланса по НП, которое рассчитывается по формуле:

$$3U_{0 \text{ нб расч}} = U_{\text{раб макс}} \cdot \sqrt{k_{0 \text{ сети}}^2 + \varepsilon^2 + k_{0 \text{ нагр ТН}}^2} = \\ = (0,0245 \cdot U_{\text{раб макс}}) \text{ для ТН класса 1 и } (0,0375 \cdot U_{\text{раб макс}}) \text{ для ТН класса 3,} \quad (99)$$

где  $U_{\text{раб макс}}$  – модуль максимально допустимого рабочего напряжения на шинах, которое рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{раб макс}} = 1,05 \cdot U_{\text{ф/мф ном}}, \quad (100)$$

где  $U_{\text{ф/мф ном}}$  – номинальное напряжение линии: фазное при расчете в первичных величинах и междуфазное при расчете во вторичных величинах;

$k_{0 \text{ сети}}$  – коэффициент несимметрии напряжения в первичной сети по ОП, принимается равным 0,02 в соответствии с ГОСТ 32144-2013;

$\varepsilon$  – полная погрешность ТН, принимается согласно ГОСТ 1983-2015 равной 0,01 при подключении УРЗ к основным обмоткам ТН класса 1, либо 0,03 при подключении УРЗ к дополнительным обмоткам ТН класса 3;

**Примечание** – Под подключением УРЗ к дополнительным обмоткам ТН помимо физического подключения цепей напряжения «звезды» и «разомкнутого треугольника» имеется ввиду соответствующее положение программного переключателя [050273] Напряжение 3U0.

$k_{0 \text{ нагр ТН}}$  – коэффициент несимметрии нагрузки во вторичной цепи ТН, определяется допустимыми по ПУЭ (пункт 3.4.5) потерями напряжения от места установки ТН до клеммника шкафа релейной защиты, принимается равным 0,01. Для цифровых защит с третьей (и выше) архитектурой построения, коэффициент несимметрии нагрузки во вторичной цепи принимается равным 0.

#### Проверка чувствительности по отношению к органам, действие которых ИО мощности разрешает

Уставка по напряжению  $3U_{0 \text{ МО разр уст}}$  разрешающего ИО направления мощности НП, должна обеспечивать срабатывание органа при КЗ с током НП, равном уставке  $3I_{0 \text{ МО разр уст}}$ , которая выбирается более чувствительной, чем уставка самого чувствительного органа, действие которого ИО мощности разрешает:

$$3U_{0 \text{ МО разр уст}} \leq 3I_{0 \text{ МО разр уст}} \cdot Z_{0 \text{ с мин}}, \quad (101)$$

где  $3I_{0 \text{ МО разр уст}}$  – уставка по току ИО направления мощности НП вычисленная согласно п. 5.2.5.3 настоящего РВУ.

$Z_{0 \text{ с мин}}$  – минимальное эквивалентное сопротивление по НП системы за спиной.

#### Проверка коэффициента чувствительности

Проверка чувствительности уставки  $3U_{0 \text{ МО разр уст}}$  производится для каждого п/к в режиме с минимальным сопротивлением по НП системы за спиной  $Z_{0 \text{ с мин}}$  и при КЗ на противоположном по отношению к месту установки

рассматриваемого полуконспекта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного ответвления или в конце зоны резервирования при наличии функции [108901] ТНЗНП:

- При отсутствии функции [108901] ТНЗНП:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0 \text{ КЗ мин}}}{3U_{0 \text{ М0 разр уст}}} \geq 1,5, \quad (102)$$

где  $3U_{0 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального напряжения несимметричного КЗ на землю в зоне действия защиты по НП, измеренного в своем полуконспекте.

- При наличии функции [108901] ТНЗНП:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0 \text{ КЗ мин}}}{3U_{0 \text{ М0 разр уст}}} \geq 1,2, \quad (103)$$

где  $3U_{0 \text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального напряжения несимметричного КЗ на землю в конце зоны резервирования по НП, измеренного в своем полуконспекте.

Если  $k_{\text{ч}}$  получился меньше требуемого значения, то необходимо ввести уставку по коэффициенту выноса ТН на линию, во всех остальных случаях принимается  $k_{\text{вын уст}} = 0$ .

#### Расчет коэффициента выноса ТН на линию

При  $k_{\text{вын уст}} > 0$  ИО реагирует на напряжение  $|3\dot{U}_{0 \text{ КЗ мин}} - 3\dot{I}_{0 \text{ КЗ мин}} \cdot k_{\text{вын уст}} \cdot Z_0|$ .

В первом приближении уставка по коэффициенту выноса ТН на линию рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{вын уст}} = \frac{k_{\text{ч треб}} \cdot 3U_{0 \text{ М0 разр уст}} - 3U_{0 \text{ КЗ мин}}}{x_{0 \text{ уст}} \cdot L_{\text{л уст}} \cdot 3I_{0 \text{ КЗ мин}}} \quad (104)$$

где  $k_{\text{ч треб}}$  – требуемый, согласно формулам (102) и (103), коэффициент чувствительности;

$x_{0 \text{ уст}}$  – уставка [050347] Удельное реактивное сопротивление линии по НП ( $x_0$ );

$3I_{0 \text{ КЗ мин}}$  – ток КЗ по НП в режиме с напряжением  $3U_{0 \text{ КЗ мин}}$ ;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии ( $L_l$ ).

Если  $k_{\text{вын уст}} > 0,5$ , то защита не проходит по чувствительности.

Затем коэффициент чувствительности проверяется по формуле с векторным представлением величин:

$$k_{\text{ч}} = \frac{|3\dot{U}_{0 \text{ КЗ мин}} - 3\dot{I}_{0 \text{ КЗ мин}} \cdot k_{\text{вын уст}} \cdot Z_0|}{3U_{0 \text{ М0 разр уст}}} \quad (105)$$

где  $3\dot{U}_{0 \text{ КЗ мин}}$ ,  $3\dot{I}_{0 \text{ КЗ мин}}$  – вектора напряжения и тока КЗ по НП в минимальном по напряжению режиме;

$Z_0$  – комплексное сопротивление линии по НП, рассчитываемое по формуле:

$$Z_0 = (r_{0 \text{ уст}} + jx_{0 \text{ уст}}) \cdot L_{\text{л уст}} \quad (106)$$

где  $r_{0 \text{ уст}}$  – уставка [050346] Удельное активное сопротивление линии по НП ( $r_0$ );

$x_{0 \text{ уст}}$  – уставка [050347] Удельное реактивное сопротивление линии по НП ( $x_0$ );

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии ( $L_l$ ).

Корректировка  $k_{\text{вын уст}}$  производится до тех пор, пока не будет достигнута максимально близкая к требуемому по формуле (102) или формуле (103) величина  $k_{\text{ч}}$ .

П р и м е ч а н и е – Блокирующий ИО направления мощности, используемый в [108901] ТНЗНП, не имеет выноса ТН на линию и каких-либо других выносов ТН.

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при расчетах в формулах (87) и (88) вместо  $3I_{0\text{ КЗ мин}}$  можно брать величину  $(3I_{0\text{ КЗ мин}} - 0,5 \cdot 3I_{0\text{ емк}})$ ,

где  $3I_{0\text{ емк}}$  – модуль емкостного тока линии по НП, который находится по формуле:

$$3I_{0\text{ емк}} = L_{\text{л уст}} \cdot b_{0\text{ уст}} \cdot 3U_{0\text{ КЗ мин}}, \quad (107)$$

где  $b_{0\text{ уст}}$  – уставка [050345] Удельная проводимость линии по НП ( $b_0 \cdot 10^{-6}$ );

$3U_{0\text{ КЗ мин}}$  – напряжение КЗ по НП в режиме с током  $3I_{0\text{ КЗ мин}}$ ;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

**П р и м е ч а н и е** – Так как ИО направления мощности не работает при НЦН, то для направленных защит, использующих функцию КЕТ, целесообразно учитывать емкостной ток при расчетах уставок ИО направления мощности.

### 5.2.6.2 Выбор уставки ПО с пуском по напряжению НП, действующего на отключение (3U0 от)

Рекомендации актуальны для расчета уставки [105205] Уср ПО 3U0, отключающий ( $3U_{0\text{ от уст}}$ ) из состава [105901] ВЧБ. Уставка обеспечивает порог срабатывания [015006] ПО 3U0, отключающий, который опционально действует на разрешение действия ИО мощности в канал отключения и на запрет действия ИО сопротивления от междуфазных КЗ на отключение.

Уставка  $3U_{0\text{ от уст}}$  рассчитывается по напряжению НП при однофазном КЗ на противоположном конце линии.

$$3U_{0\text{ от уст}} = \frac{3U_{0\text{ КЗ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (108)$$

где  $3U_{0\text{ КЗ мин}}$  – модуль минимального напряжения несимметричного КЗ на землю в зоне действия защиты по НП, измеренного в своем полуконтакте.

$k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности выбирается равным 2.

### 5.2.6.3 Выбор уставки ПО с пуском по напряжению НП, действующего на останов ВЧ при включении удаленного В (3U0 вкл.УВ)

Рекомендации актуальны для расчета уставки [102302] Уср ПО 3U0 при вкл. удаленного В ( $3U_{0\text{ вкл УВ уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ 330-750 кВ. Уставка обеспечивает порог срабатывания [015046] ПО 3U0 при вкл. удаленного В, который действует на формирование запрета пуска ВЧ на отключенном конце линии при включении выключателя удаленного конца на КЗ.

Уставка  $3U_{0\text{ вкл УВ уст}}$  рассчитывается для односторонне включенной линии по напряжению НП на отключенном конце линии при однофазном КЗ на противоположном включенном конце линии.

$$3U_{0\text{ вкл УВ уст}} = \frac{3U_{0\text{ КЗ мин}}}{k_{\text{ч}}}, \quad (109)$$

где  $3U_{0\text{ КЗ мин}}$  – модуль напряжения на отключенном конце линии по НП при удаленном КЗ на включенном конце линии.

$k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности выбирается равным 2.

## 5.2.7 Выбор уставок ПО с пуском по модулю разности векторов фазных токов (Iл)

### 5.2.7.1 Выбор уставки ПО с пуском по модулю разности векторов фазных токов, действующего на блокировку (Iл бл)

Рекомендации актуальны для расчета уставки [103205] I<sub>ср</sub> ПО Iл (AB), блокирующий (I<sub>л бл уст</sub>) из состава [103901] ДФЗ. Данная уставка обеспечивают порог срабатывания [012011] ПО Iл (AB) (ДФЗ), блокирующий.

Уставка I<sub>2 бл уст</sub> органа с пуском по току ОП, действующего на блокировку, выбирается исходя из отстройки от максимального рабочего тока I<sub>раб макс</sub>.

$$I_{л бл уст} = \frac{\sqrt{3} \cdot k_{отс} \cdot I_{раб макс}}{k_{в}}, \quad (110)$$

где k<sub>отс</sub> – коэффициент отстройки, выбирается из диапазона от 1,1 до 1,2;

k<sub>в</sub> – коэффициент возврата ПО, равный 0,95;

I<sub>раб макс</sub> – модуль максимального рабочего тока, выбирается наибольший из двух токов, протекающих через полуккомплекты защит по концам линии.

### 5.2.7.2 Выбор уставки ПО с пуском по модулю разности векторов фазных токов, действующего на отключение (Iл от)

Рекомендации актуальны для расчета уставки [103206] I<sub>ср</sub> ПО Iл (AB), отключающий (I<sub>л от уст</sub>) из состава [103901] ДФЗ. Данная уставка обеспечивают порог срабатывания [012012] ПО Iл (AB) (ДФЗ), отключающий.

Для обеспечения селективности защиты при внешних коротких замыканиях необходимо, чтобы чувствительность блокирующего ПО (п. 5.2.7.1), действующего на пуск ВЧ сигнала на удаленном конце линии, была выше чувствительности ПО, действующего на отключение на своем конце линии.

Уставка I<sub>л от уст</sub> рассчитывается по формуле:

$$I_{л от уст} = k_{отс} \cdot k_{л отв} \cdot I_{л бл уст удал}, \quad (111)$$

где k<sub>отс</sub> – коэффициент отстройки, принимается равным 1,3;

I<sub>л бл уст удал</sub> – уставка [103205] I<sub>ср</sub> ПО Iл (AB), блокирующий п/к удаленного конца линии, рассчитываемая по формуле (110);

k<sub>л отв</sub> – коэффициент ответвления, который рассчитывается для каждого п/к как отношение тока, измеренного в своем полуккомплекте к току измеренному в другом полуккомплекте, с которым производится согласование:

- Для линий без ответвлений принимается равным 1.
- Для линий с двумя питающими концами и пассивным(и) ответвлениями k<sub>л отв</sub> рассчитывается в режиме внешних симметричных КЗ вблизи удаленного конца линии согласно формулам (25) и (26),

где I<sub>л бл уст удал</sub> – уставка I<sub>л бл уст удал</sub>;

I<sub>Σ нагр отв</sub> – суммарный ток I<sub>л Σ нагр отв</sub>, рассчитываемый по формуле:

$$I_{л Σ нагр отв} = \sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^n I_{раб макс отв i}, \quad (112)$$

где  $n$  – количество пассивных ответвлений;

$I_{\text{раб макс отв } i}$  – максимальный рабочий ток пассивного ответвления с номером  $i$ .

– Для линий с тремя равноправными активными концами  $k_{\text{л отв}}$  рассчитывается в режиме внешних симметричных КЗ вблизи своего конца линии согласно формуле (27),

где  $I_{\text{п/к } 1}$  – модуль разности векторов фазных токов линии  $|\dot{I}_A - \dot{I}_B|$  либо модуль тока линии по ПП, текущий через свой п/к защиты;

$I_{\text{п/к } 2}$  и  $I_{\text{п/к } 3}$  – модули разности векторов фазных токов линии  $|\dot{I}_A - \dot{I}_B|$  либо модули токов линии по ПП, текущие через удаленные полуконтакты;

### Проверка коэффициента чувствительности

Проверка чувствительности ПО действующего на отключение, производится для каждого п/к по измеренному в своем полуконтакте току при КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полуконтакта конце линии, либо при наличии ответвлений – в конце самого отдаленного ответвления:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{ф КЗ мин}} \cdot \sqrt{3}}{I_{\text{л от уст}}}, \quad (113)$$

где  $I_{\text{ф КЗ мин}}$  – модуль минимального фазного тока симметричного КЗ в зоне действия защиты, измеренного в своем полуконтакте;

$I_{\text{л от уст}}$  – уставка [103206] **Исп ПО Ил (АВ), отключающий**.

Требуемое значение коэффициента чувствительности равно 2.

Если  $k_{\text{ч}} > 2$ , то для уменьшения количества пусков защиты при внешних КЗ целесообразно загрузить уставки  $I_{\text{л от уст}}$  и  $I_{\text{л бл уст}}$  в соответствии с требуемым коэффициентом чувствительности по формулам:

$$I_{\text{л от уст}} = \frac{I_{\text{ф КЗ мин}} \cdot \sqrt{3}}{2}, \quad (114)$$

$$I_{\text{л бл уст}} = \frac{I_{\text{л от уст}}}{2}, \quad (115)$$

Если  $k_{\text{ч}} < 2$ , то вводится в работу [013002] **ПО DI1, отключающий**. Подхват срабатывания органа по приращению в нормальном режиме работы цепей ТН обеспечивается с помощью [010029] **ИО Z АВ с охв., отключающий**, [010030] **ИО Z ВС с охв., отключающий**, [010031] **ИО Z СА с охв., отключающий**, вводимых на ограниченное время, и при НЦН – от [012011] **ПО Ил (АВ) (ДФЗ), блокирующий**.

Если расчет токов КЗ в ПМК производился с учетом емкостных токов линии, то для учета понижения чувствительности ПО при внутренних КЗ с введенной КЕТ при расчетах в формулах (113) и (114) вместо  $I_{\text{ф КЗ мин}}$  можно брать величину  $(I_{\text{ф КЗ мин}} - 0,5 \cdot I_{\text{ф емк}})$ ,

где  $I_{\text{ф емк}}$  – модуль фазного емкостного тока линии, который находится по формуле:

$$I_{\text{ф емк}} = I_{1 \text{ емк}} = L_{\text{л уст}} \cdot b_{1 \text{ уст}} \cdot U_{\text{ф КЗ мин}}, \quad (116)$$

где  $b_{1 \text{ уст}}$  – уставка [050342] Удельная проводимость линии по ПП ( $b_1 \cdot 10^{-6}$ );

$U_{\text{ф КЗ мин}}$  – фазное напряжение КЗ в режиме с током  $I_{\text{ф КЗ мин}}$ ;

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] **Длина линии (Лл)**.

Примечание – Следует учитывать, что при расчете с учетом емкостного тока вывод КЕТ (в т.ч. автоматический) для ПО или устройства в целом приведет к повышению чувствительности, что нежелательно при внешних КЗ.

## 5.2.8 Выбор уставок ИО сопротивлений от междуфазных повреждений (Z)

5.2.8.1 Выбор уставки наклона характеристик срабатывания ИО сопротивлений, действующих на отключение (Z охв от, Z от), на блокировку (Z охв бл) и ИО сопротивления выявления повреждений на ответвлении (Z отв)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103303] Наклон ИО Z с охв., отключающий ( $\varphi_{1 \text{ охв от уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104256] Наклон ИО Z и ИО Z с охв., отключающий ( $\varphi_{1 \text{ охв от уст}}$  или  $\varphi_{1 \text{ от уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ.

Данные уставки обеспечивают наклон характеристик срабатывания [010029] ИО Z АВ с охв., отключающий, [010030] ИО Z ВС с охв., отключающий, [010031] ИО Z СА с охв., отключающий. А также выходов с РНМ [010073] ИО Z АВ, отключающий, [010074] ИО Z ВС, отключающий, [010075] ИО Z СА, отключающий, используемых в НВЧЗ.

Примечание – Сигналы [010029] ИО Z АВ с охв., отключающий и [010073] ИО Z АВ, отключающий являются выходами одного измерительного органа с одним набором уставок.

Для [104901] НВЧЗ рекомендации служат также и для выбора уставки [104253] Наклон ИО Z с охв., блокирующий ( $\varphi_{1 \text{ охв бл уст}}$ ), обеспечивающей наклон характеристик срабатывания [010026] ИО Z АВ с охв., блокирующий, [010027] ИО Z ВС с охв., блокирующий, [010028] ИО Z СА с охв., блокирующий.

Для ВЧЗ на 110-220 кВ рекомендации служат также и для выбора уставки [103306] Наклон ИО Z, ответвления ( $\varphi_{1 \text{ отв уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ и уставки [104259] Наклон ИО Z, ответвления ( $\varphi_{1 \text{ отв уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ. Данные уставки обеспечивают наклон характеристик срабатывания [010032] ИО Z АВ, ответвления, [010033] ИО Z ВС, ответвления, [010034] ИО Z СА, ответвления.

Угол линии вычисляется по заданным уставкам удельных параметров линии:

$$\varphi_{\text{л}} = \arctg\left(\frac{x_{1 \text{ уст}}}{r_{1 \text{ уст}}}\right), \quad (117)$$

где  $x_{1 \text{ уст}}$  – уставка [050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП ( $x_1$ );

$r_{1 \text{ уст}}$  – уставка [050343] Удельное активное сопротивление линии по ПП ( $r_1$ ).

Уставки по наклону характеристик срабатывания выбираются равными:

$$\varphi_{1 \text{ охв от уст}} = \varphi_{1 \text{ от уст}} = \varphi_{1 \text{ охв бл уст}} = \varphi_{1 \text{ отв уст}} = \varphi_{\text{л}}, \quad (118)$$

Если  $\varphi_{\text{л}}$  смежной линии значительно отличается от  $\varphi_{\text{л}}$  защищаемой линии, то уставка  $\varphi_{1 \text{ бл уст}}$  выбирается равной  $\varphi_{\text{л}}$  смежной линии.

5.2.8.1 Выбор уставок ИО сопротивления  $Z_{\text{от}}$  по углам  $\varphi_{2 \text{ уст}}$  и  $\varphi_{3 \text{ уст}}$  характеристики срабатывания

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103307] Наклон левой части ИО Z из состава [103901] ДФЗ без КСЗ,  
[104260] Наклон левой части ИО Z из состава [104901] НВЧЗ без КСЗ,  
[106261] Наклон левой части ИО Z при наличии КСЗ ( $\varphi_{2\text{уст}}$ );
- [103308] Наклон нижней правой части ИО Z из состава [103901] ДФЗ без КСЗ,  
[104261] Наклон нижней правой части ИО Z из состава [104901] НВЧЗ без КСЗ,  
[106262] Наклон нижней правой части ИО Z при наличии КСЗ ( $\varphi_{3\text{уст}}$ ).

Угол  $\varphi_{2\text{уст}}$  в IV квадранте выбирается из условия охвата замера при КЗ через переходное сопротивление в начале линии, который может быть повернут в IV квадрант на угол, зависящий от угла передачи мощности на линии с двухсторонним питанием. Для большинства случаев рекомендуется значение  $\varphi_{2\text{уст}} = -15^\circ$ .

Угол  $\varphi_{3\text{уст}}$  во II квадранте выбирается из условий отстройки от внешних КЗ через переходное сопротивление, который также зависит от угла передачи мощности на линии с двухсторонним питанием. Для большинства случаев рекомендуется значение  $\varphi_{3\text{уст}} = 115^\circ$ .

### 5.2.8.2 Выбор уставки по активному сопротивлению ИО сопротивлений, действующих на отключение (Z охв от) и ИО сопротивления выявления повреждений на ответвлении (Z отв)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103302] Руст ИО Z с охв., отключающий ( $R_{\text{охв от уст}}$ ) и [103305] Руст ИО Z, ответвления ( $R_{\text{отв уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104255] Руст ИО Z и ИО Z с охв., отключающий ( $R_{\text{охв от уст}}$  или  $R_{\text{от уст}}$ ) и [104258] Руст ИО Z, ответвления ( $R_{\text{отв уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ;
- [105252] Руст ИО Z, отключающий ( $R_{\text{от уст}}$ ) из состава [105901] ВЧБ.

Уставка  $R_{\text{охв от уст}}$  или  $R_{\text{от уст}}$  обеспечивает пороги срабатывания отключающих органов с выходами [010029] ИО Z АВ с охв., отключающий и [010073] ИО Z АВ, отключающий, [010030] ИО Z ВС с охв., отключающий и [010074] ИО Z ВС, отключающий, [010031] ИО Z СА с охв., отключающий и [010075] ИО Z СА, отключающий. Уставка  $R_{\text{отв уст}}$  обеспечивает пороги срабатывания органов контроля повреждений на ответвлении [010032] ИО Z АВ, ответвления, [010033] ИО Z ВС, ответвления, [010034] ИО Z СА, ответвления.

Примечание – Сигналы [010029] ИО Z АВ с охв., отключающий и [010073] ИО Z АВ, отключающий являются выходами одного измерительного органа с одним набором уставок.

Дальнейшие рекомендации указаны с учетом введенной функции выреза нагрузочного режима (п. 5.2.8.8). Если функция выреза нагрузочного режима не используется, то рекомендуется рассчитывать уставки исходя из отстройки от максимального нагрузочного режима.

Согласно формулам 13 и 14 получим соотношения для двухфазных и трехфазных дуговых замыканий:

$$\begin{cases} R_{пф}^{(2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1050 \cdot I_{д макс}}{I_{ф сумм}^{(2)}} \\ R_{пф}^{(3)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1050 \cdot I_{д макс}}{I_{ф сумм}^{(3)}}, \\ I_{ф сумм}^{(2)} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{ф сумм}^{(3)} \end{cases} \quad (119)$$

где  $I_{ф сумм}^{(2)}, I_{ф сумм}^{(3)}$  – минимальные суммарные фазные токи двухфазного и трехфазного короткого замыкания соответственно.

В ДФЗ ИО  $Z_{охв от}$  используется для подхвата действия ПО по основному каналу отключения при их кратковременном срабатывании и возврате при симметричных КЗ. В НВЧЗ 110-220кВ ИО  $Z_{от}$  используется для самостоятельного действия в канал отключения так же при симметричных КЗ. Поэтому целесообразно рассчитывать  $R_{от уст}$  для режима симметричного трехфазного КЗ.

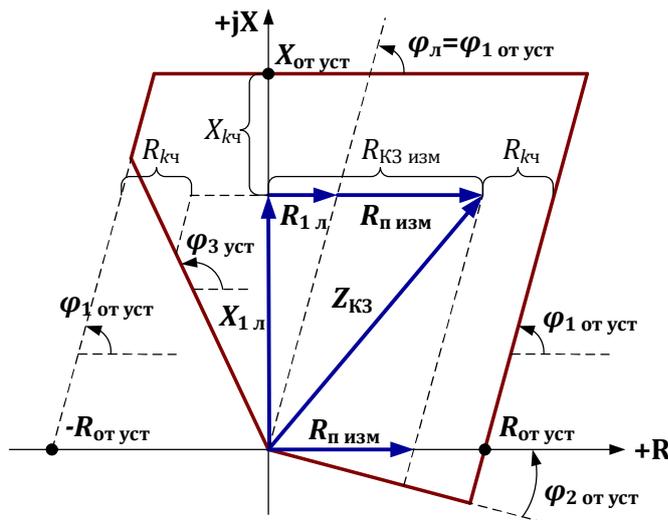
Так как характеристика срабатывания имеет угол наклона, рассчитываемый из удельных параметров линии по формуле (117), то в отличие от формулы (12), повторно учитывать активное сопротивление линии в уставке ИО сопротивления не нужно (см рисунок 40). Таким образом уставка  $R_{от уст}$  выбирается исходя из измеренного переходного сопротивления  $R_{п изм}$  при трехфазном КЗ на удаленном конце линии:

$$R_{охв от уст} = R_{от уст} = k_ч \cdot R_{п изм} = k_ч \cdot R_{пф} \cdot \left( 1 + \frac{I_1^{(3) удал}}{I_1^{(3) свой}} \right), \quad (120)$$

где  $k_ч$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5;

$I_1^{(3) удал}$  – модуль тока ПП при трехфазном КЗ через переходное сопротивление на удаленном конце линии, измеренный на удаленном конце линии;

$I_1^{(3) свой}$  – модуль тока ПП при трехфазном КЗ через переходное сопротивление на удаленном конце линии, измеренный на своем конце линии.



$Z_{КЗ}$  – полное сопротивление КЗ;  $R_{1 л}, X_{1 л}$  – активное и реактивное сопротивления линии по ПП;  $R_{КЗ изм}$  – активная составляющая измеренного сопротивления до места КЗ;  $R_{п изм}$  – активная составляющая измеренного

переходного сопротивления;  $R_{кч}, X_{кч}$  – активное и реактивное сопротивление, добавленные коэффициентами чувствительности.

Рис. 40 – Замер активного междуфазного сопротивления при КЗ в конце линии на примере хар-ки ИО  $Z_{от}$

Уставка по активному сопротивлению для ИО контроля повреждений на ответвлении выбирается чувствительнее уставки ИО в основном канале отключения:

$$R_{отв уст} = k_{ч} \cdot R_{от уст}, \quad (121)$$

где  $k_{ч}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,05.

### 5.2.8.3 Выбор уставки по активному сопротивлению ИО сопротивления с охватом, действующего на блокировку (Z охв бл)

Рекомендации актуальны для расчета уставки **[104252] Руст ИО Z с охв., блокирующий** ( $R_{охв бл уст}$ ) из состава **[104901] НВЧЗ**. Данные уставки обеспечивают порог срабатывания органов с выходами **[010026] ИО Z АВ с охв., блокирующий**, **[010027] ИО Z ВС с охв., блокирующий**, **[010028] ИО Z СА с охв., блокирующий**.

Уставка по активному сопротивлению ИО действующего на блокировку выбирается более чувствительная, чем уставка ИО сопротивления удаленного конца, действующего на отключение:

$$R_{охв бл уст} = k_{ч} \cdot R_{от уст удал}, \quad (122)$$

где  $k_{ч}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,05;

$R_{от уст удал}$  – уставка **[104255] Руст ИО Z и ИО Z с охв., отключающий** п/к удаленного конца линии, рассчитанная по выражению (120) из п.5.2.8.2.

Таким образом обеспечивается полный охват участка зоны отключающего ИО удаленного п/к за шинами своей подстанции зоной блокирующего ИО своего п/к (рисунок 18).

### 5.2.8.4 Выбор уставки по реактивному сопротивлению ИО сопротивления с охватом и без, действующего на отключение (Z охв от, Z от)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- **[103301] Хуст ИО Z с охв., отключающий** ( $X_{охв от уст}$ ) из состава **[103901] ДФЗ**;
- **[104254] Хуст ИО Z и ИО Z с охв., отключающий** ( $X_{охв от уст}$  или  $X_{от уст}$ ) из состава **[104901] НВЧЗ**;
- **[105251] Хуст ИО Z, отключающий** из состава **[105901] ВЧБ**.

Уставка  $X_{охв от уст} = X_{от уст}$  обеспечивает пороги срабатывания отключающих органов с выходами **[010029] ИО Z АВ с охв., отключающий** и **[010073] ИО Z АВ, отключающий**, **[010030] ИО Z ВС с охв., отключающий** и **[010074] ИО Z ВС, отключающий**, **[010031] ИО Z СА с охв., отключающий** и **[010075] ИО Z СА, отключающий**.

Примечание – Сигналы **[010029] ИО Z АВ с охв., отключающий** и **[010073] ИО Z АВ, отключающий** являются выходами одного измерительного органа с одним набором уставок.

Уставка по реактивному сопротивлению выбирается исходя из надежного охвата замера реактивного сопротивления при КЗ в конце линии:

$$X_{от уст} = k_{ч} \cdot x_{1 уст} \cdot L_{л уст}, \quad (123)$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 2 для линий длиной до 150 км и равным 1,5 для линий длиной более 150 км;

$x_{1 \text{ уст}}$  – уставка [050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП (x1);

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Lл).

Для линий с ответвлениями дополнительно проверяется замер реактивного сопротивления при КЗ на вводах стороны ВН трансформатора(ов) в конце максимального по длине ответвления, который вычисляется по формуле:

$$X_{\text{от уст}} = k_{\text{ч}} \cdot \max(X_{\text{ВН тр отв 1}}, \dots, X_{\text{ВН тр отв n}}), \quad (124)$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5;

$X_{\text{ВН тр отв n}}$  – замер реактивного сопротивления при трехфазном КЗ на вводах стороны ВН трансформатора(ов)  $n$ -го ответвления (в конце линии  $n$ -го ответвления), которое рассчитывается по формуле:

$$X_{\text{ВН тр отв n}} = \sin(\varphi_{\text{л}}) \cdot \left( \frac{U_1^{(3)}}{I_1^{(3)}} \right), \quad (125)$$

где  $I_1^{(3)}$ ,  $U_1^{(3)}$  – модули тока и остаточного напряжения ПП при трехфазном КЗ на вводах стороны ВН трансформатора(ов)  $n$ -го ответвления (в конце линии  $n$ -го ответвления).

**П р и м е ч а н и е** – Замеры при двухфазных КЗ не учитываются, потому что в этом режиме должны работать пусковые органы по ОП. Тогда как ИО сопротивления, действующее на отключение служат для обеспечения работы только при симметричных КЗ, в отличие от ИО сопротивления выявления повреждений на ответвлении.

Уставка по реактивному сопротивлению выбирается равной величине, вычисленной по формуле (123) (для линий без ответвлений), либо равной максимальной из двух величин, вычисленных по формулам (123) и (124) (для линий с ответвлениями).

#### 5.2.8.5 Выбор уставки по реактивному сопротивлению ИО сопротивления выявления повреждений на ответвлении (Z отв)

Рекомендации актуальны для расчета уставок:

- [103304] Хуст ИО Z, ответвления ( $X_{\text{отв уст}}$ ) из состава [103901] ДФЗ;
- [104257] Хуст ИО Z, ответвления ( $X_{\text{отв уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ.

Данные уставки обеспечивают наклон характеристик срабатывания [010032] ИО Z АВ, ответвления, [010033] ИО Z ВС, ответвления, [010034] ИО Z СА, ответвления.

Уставка по реактивному сопротивлению ИО выявления повреждений на ответвлении отстраивается от всех видов КЗ на вводах НН трансформатора(ов) каждого из ответвлений:

$$X_{\text{отв уст}} = k_{\text{отс}} \cdot \min(X_{\text{НН тр 1}}, \dots, X_{\text{НН тр n}}), \quad (126)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,85;

$X_{\text{НН тр n}}$  – минимальное сопротивление от места установки защиты до вводов стороны НН трансформатора(ов)  $n$ -ого ответвления, рассчитываемое по формуле:

$$X_{\text{НН тр n}} = X_{\text{защ-разв n}} + \frac{X_{\text{разв n-ВН тр n}} + X_{\text{тр n мин}}^{(1)}}{k_{\text{тр}}}, \quad (127)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,85;

$X_{\text{защ-разв } n}$  – расчетное сопротивление участка линии от места установки защиты до точки разветвления  $n$ -го ответвления (начало линии  $n$ -го ответвления);

$X_{\text{разв } n\text{-ВН тр } n}$  – расчетное сопротивление участка  $n$ -го ответвления от точки разветвления (начало линии ответвления) до вводов стороны ВН трансформатора(ов) ответвления;

$X_{\text{тр } n \text{ мин}}^{(1)}$  – минимальное сопротивление трансформатора;  $X_{\text{тр } n \text{ мин}}^{(1)}$

Примечание – Сопротивление  $X_{\text{тр } n \text{ мин}}^{(1)}$  берется учетом крайнего положения РПН при котором сопротивление трансформатора минимально.

Примечание – Если на ответвлении  $n$  параллельно установлено несколько трансформаторов с заземленной нейтралью, то для расчетов берется эквивалентное сопротивление  $X_{\text{тр } n \text{ экв мин}}^{(1)}$  всех трансформаторов ответвления  $n$ .

$k_{\text{тр}}$  – коэффициент токораспределения, учитывающий влияние генерирующих источников по концам линии на замер реактивного сопротивления, рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{тр}} = \frac{I_1^{(3) \text{ свой}}}{I_1^{(3) \text{ отв}}}, \quad (128)$$

где  $I_1^{(3) \text{ свой}}, I_1^{(3) \text{ отв}}$  – модули токов ПП при трехфазном КЗ за трансформатором ответвления, измеренные на своем конце линии и на ответвлении соответственно.

Примечание – Здесь и далее все величины, указанные для трансформаторов, справедливы и для автотрансформаторов.

Дополнительно проверяется замер сопротивления при броске намагничивающего тока в наихудшем режиме, когда производится однофазное включение своей стороны линии (второй конец отключен) при задействовании всех параллельно установленных трансформаторов с заземленными нейтральями на всех ответвлениях:

$$X_{\text{отв уст}} = C_6 \cdot (X_{\text{отв экв мин}}^{(1)} + X_c) - X_c, \quad (129)$$

где  $C_6$  – расчетный коэффициент, учитывающий постоянную времени контура включения трансформатора, тип стали магнитопровода, тип используемого реле для которого определяются параметры срабатывания. Для УРЗ производства ООО НПП «ЭКРА» принимается для холоднокатаной стали равным 1,75 на ВЛ 110 кВ и 1,55 на ВЛ 220 кВ;

$X_{\text{отв экв мин}}^{(1)}$  – эквивалентное минимальное сопротивление всех параллельных ответвлений при однофазном включении линии со своей стороны, рассчитывается по формуле (134).

$X_c$  – сопротивление системы своей стороны рассчитывается по выражению:

$$X_c = \frac{U_{\text{ф ном}} - x_{1 \text{ уд}} \cdot L_{\text{л уст}} \cdot I_1^{(3)}}{I_1^{(3)}}, \quad (130)$$

где  $U_{\text{ф ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии;

$I_1^{(3)}$  – модуль тока ПП при трехфазном КЗ на удаленном конце линии;

$x_{1 \text{ уд}}$  – уставка [050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП ( $x_1$ );

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

Уставка  $X_{\text{отв уст}}$  выбирается минимальной из вычисленных по формулам (126) и (129).

### Согласование чувствительности ИО сопротивления ответвления с ИО сопротивления действующего на отключение

ИО сопротивления выявления повреждения на ответвлении служит в логике защиты для контроля цепей отключения при междуфазных и симметричных повреждениях в пределах линии с ответвлениями до вводов НН ответвлений. Для этого чувствительность ИО ответвления должна быть больше или равна чувствительности ИО, действующего на отключение:

$$X_{\text{отв уст}} \geq k_{\text{ч}} \cdot X_{\text{от уст}}, \quad (131)$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,05;

$X_{\text{от уст}}$  – уставка [103301] Хуст ИО Z с охв., отключающий из состава [103901] ДФЗ и уставки [104255] Руст ИО Z и ИО Z с охв., отключающий из состава [104901] НВЧЗ.

Если условие (131) не выполняется, то защита не проходит по чувствительности. В этом случае как для ДФЗ, так и для НВЧЗ рекомендуется установка дополнительного блокирующего п/к на ответвлении с наименьшим суммарным сопротивлением  $X_{\text{НН тр}}$ . Наименьшее значение  $X_{\text{НН тр}}$  выбирается из расчетных сопротивлений по формуле (127) для каждого из концов ЛЭП. Далее производится пересчет уставки по реактивному сопротивлению. Блокирующий п/к ответвления (п. 5.1.10) должен определять повреждения на низкой стороне трансформатора (в пределах чувствительности  $X_{\text{от уст}}$  обоих концов) и пускать сплошной ВЧ сигнал.

#### Расчет минимального сопротивления трансформатора

Минимальное сопротивление трансформатора при однофазном включении рассчитывается по формуле:

$$X_{\text{тр л мин}}^{(1)} = \frac{X_{\text{тр \%}}^{(1)} \cdot (U_{\text{ф ном тр}} - U_{\text{РПН макс}})^2}{S_{\text{ном тр}}}, \quad (132)$$

где  $U_{\text{ф ном тр}}$  – номинальное паспортное напряжение трансформатора;

$U_{\text{РПН макс}}$  – максимальное напряжение РПН трансформатора, достижимое в крайнем положении диапазона регулирования;

$S_{\text{ном тр}}$  – номинальная мощность трансформатора;

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

$$X_{\text{тр \%}}^{(1)} = \frac{A + U_{\text{КЗ тр \%}}}{B}, \quad (133)$$

где  $U_{\text{КЗ тр \%}}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора в % между включаемой и внутренней (лежащей на стержне) обмотками;

$A, B$  – коэффициенты в %, которые выбираются по таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты  $A$  и  $B$  для трансформаторов и автотрансформаторов

Устройство	Мощность, МВА	A, %	B, %
Трансформатор	≤60	12,7	1,35
	>60	21,4	1,35
Автотрансформатор	≤125	25,7	1,3
	>125	35	1,28

### Расчет эквивалентного сопротивления нескольких ответвлений

Эквивалентное сопротивление трех параллельных ответвлений, расположенных в соответствии со схемой на рисунке 41 считается согласно формуле:

$$X_{\text{отв экв мин}}^{(1)} = \left\{ \left( X_{\text{разв 2-разв 3}} + X_{\text{разв 3-ВН тр 3}} + X_{\text{тр 3 мин}}^{(1)} \right) \parallel \left( X_{\text{разв 2-ВН тр 2}} + X_{\text{тр 2 мин}}^{(1)} \right) + X_{\text{разв 1-разв 2}} \right\} \parallel \left( X_{\text{разв 1-ВН тр 1}} + X_{\text{тр 1 мин}}^{(1)} \right) + X_{\text{п/к 1-разв 1}}, \quad (134)$$

где оператор  $\parallel$  обозначает расчет эквивалентного сопротивления при параллельном соединении;

$X_{\text{Точка 1 - точка 2}}$  – реактивное сопротивление между двумя точками на схеме;

$X_{\text{тр } n \text{ мин}}^{(1)}$  – минимальное сопротивление трансформатора с заземленной нейтралью  $n$ -го ответвления при однофазном включении, рассчитывается по формуле (133);

Примечание – Минимальное сопротивление  $X_{\text{нн тр } n}$  берется учетом крайнего положения РПН при котором сопротивление трансформатора минимально.

Примечание – Если на ответвлении  $n$  параллельно установлено несколько трансформаторов с заземленной нейтралью, то для расчетов берется эквивалентное сопротивление  $X_{\text{тр } n \text{ экв мин}}^{(1)}$  всех трансформаторов ответвления  $n$  (не путать с  $X_{\text{отв экв мин}}^{(1)}$ ).

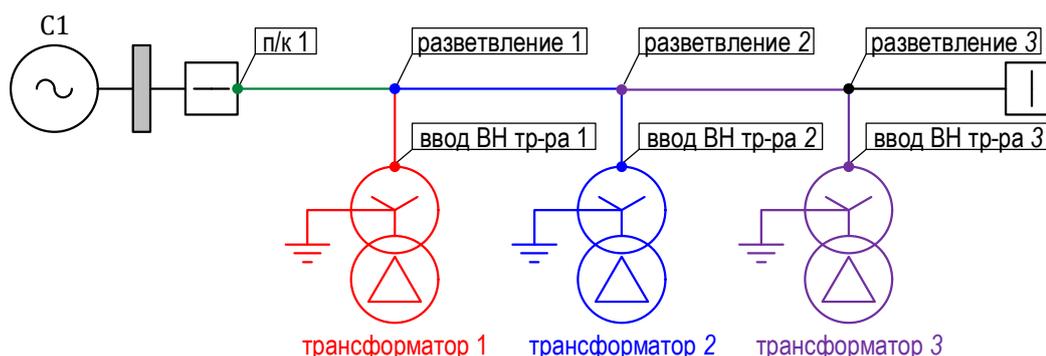


Рис. 41 – Схема односторонне включенной линии с тремя ответвлениями

### 5.2.8.6 Выбор уставки по реактивному сопротивлению ИО сопротивления с охватом, действующего на блокировку ( $Z_{\text{охв бл}}$ )

Рекомендации актуальны для расчета уставки [104251] Хуст ИО  $Z$  с охв., блокирующий ( $X_{\text{охв бл уст}}$ ) из состава [104901] НВЧЗ. Данные уставки обеспечивают порог срабатывания органов с выходами [010026] ИО  $Z$  АВ с охв., блокирующий, [010027] ИО  $Z$  ВС с охв., блокирующий, [010028] ИО  $Z$  СА с охв., блокирующий.

Уставка по реактивному сопротивлению ИО действующего на блокировку выбирается исходя из условия надежного срабатывания при КЗ на смежной линии в точке максимального удаления от противоположного конца своей линии.

$$X_{\text{охв бл уст}} = k_{\text{ч}} \cdot (X_{\text{от уст удал}} - x_{1 \text{ уст}} \cdot L_{\text{уст}}), \quad (135)$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 2;

$X_{\text{от уст удал}}$  – уставка [104254] Хуст ИО  $Z$  и ИО  $Z$  с охв., отключающий п/к удаленного конца линии, рассчитанная по выражению (123) или (124) из п.5.2.8.4;

$x_{1 \text{ уст}}$  – уставка [050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП ( $x_1$ );

$L_{\text{л уст}}$  – уставка [050341] Длина линии (Лл).

Таким образом обеспечивается полный охват участка зоны отключающего ИО удаленного п/к за шинами своей подстанции зоной блокирующего ИО своего п/к (рисунок 18).

### 5.2.8.7 Проверка замеров ИО сопротивлений, действующих на отключение ( $Z_{\text{охв от}}$ , $Z_{\text{от}}$ ) и ИО сопротивления выявления повреждений на ответвлении ( $Z_{\text{отв}}$ )

Окончательный выбор уставок  $Z_{\text{охв от}}$ ,  $Z_{\text{от}}$  и ИО  $Z_{\text{отв}}$  производится после проверки замеров в специализированном ПМК, где учет влияния сопротивления дуги более точен.

Для всех упомянутых ИО проверяются максимальные замеры чувствительности  $R_{\text{чув}}$  и  $X_{\text{чув}}$  при КЗ через переходное сопротивление в начале и конце линии. Для линий с ответвлениями дополнительно проверяются замеры активного сопротивления при КЗ через переходное сопротивление в конце каждого ответвления (на вводах стороны ВН трансформатора). При этом для всех замеров должно выполняться неравенство:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} \leq X_{\text{охв от уст}}(X_{\text{от уст}}, X_{\text{отв уст}}) \\ \left( R_{\text{чув}} - \frac{X_{\text{чув}}}{\tan \varphi_{1 \text{ охв от уст}}(\varphi_{1 \text{ от уст}}, \varphi_{1 \text{ отв уст}})} \right) \cdot k_{\text{ч}} \leq R_{\text{охв от уст}}(R_{\text{от уст}}, R_{\text{отв уст}}) \end{array} \right. \quad (136)$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности, принимается равным 1,2;

$X_{\text{охв от уст}}(X_{\text{от уст}})$  – уставка [103301] Хуст ИО Z с охв., отключающий из состава [103901] ДФЗ или уставка [104255] Руст ИО Z и ИО Z с охв., отключающий из состава [104901] НВЧЗ или уставка [105251] Хуст ИО Z, отключающий из состава [105901] ВЧБ;

$X_{\text{отв уст}}$  – уставка [103304] Хуст ИО Z, ответвления из состава [103901] ДФЗ и уставки [104257] Хуст ИО Z, ответвления из состава [104901] НВЧЗ;

$R_{\text{охв от уст}}(R_{\text{от уст}})$  – уставка [103302] Руст ИО Z с охв., отключающий из состава [103901] ДФЗ или уставка [104255] Руст ИО Z и ИО Z с охв., отключающий из состава [104901] НВЧЗ или уставка [105252] Руст ИО Z, отключающий из состава [105901] ВЧБ;

$R_{\text{отв уст}}$  – уставка [103305] Руст ИО Z, ответвления из состава [103901] ДФЗ или уставка [104258] Руст ИО Z, ответвления из состава [104901] НВЧЗ.

Для ИО Z отв проверяются отсрочечные замеры при металлических КЗ на вводах НН трансформатора каждого из ответвлений:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}} > X_{\text{отв уст}} \\ \left( R_{\text{отс}} - \frac{X_{\text{отс}}}{\tan \varphi_{1 \text{ отв уст}}} \right) \cdot k_{\text{отс}} > R_{\text{отв уст}} \end{array} \right. \quad (137)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,83;

$\varphi_{1 \text{ отв уст}}$  – уставка [103306] Наклон ИО Z, ответвления из состава [103901] ДФЗ и уставки [104259] Наклон ИО Z, ответвления из состава [104901] НВЧЗ

Корректировка уставок  $\varphi_{1 \text{ охв от уст}}$ ,  $\varphi_{1 \text{ от уст}}$  и  $\varphi_{1 \text{ отв уст}}$  может производиться только в сторону уменьшения, иначе при расчете уставки  $R_{\text{охв от уст}}$ ,  $R_{\text{от уст}}$  и  $R_{\text{отв уст}}$  потребуются учет активного сопротивления линии.

Для ДФЗ на линиях с ответвлениями должно выполняться условие полного покрытия характеристики **ИО Z охв** от характеристикой ИО Z отв без учета углов  $\varphi_{2 \text{ уст}}$  и  $\varphi_{3 \text{ уст}}$ .

Для НВЧЗ на линиях с ответвлениями должно выполняться условие полного покрытия характеристики ИО Z от характеристикой ИО Z отв.

### 5.2.8.8 Выбор уставок реле сопротивления в области нагрузочного режима

Для версий ПО терминала, где используется диаграмма сопротивлений с вырезом области нагрузочного режима, отстройка от нагрузочного режима реле сопротивления выполняется исключением из характеристики РС области, соответствующей максимальным нагрузочным режимам, и определяемой двумя уставками:

- [103309] Руст нагрузочного режима ИО Z ( $R_{\text{нагр уст}}$ ) и  
[103310] Угол выреза нагрузочного режима ИО Z ( $\varphi_{\text{нагр уст}}$ ) для ВЧЗ 110-220 кВ без КСЗ;
- [106263] Руст нагрузочного режима ИО Z ( $R_{\text{нагр уст}}$ ) и  
[106264] Угол выреза нагрузочного режима ИО Z ( $\varphi_{\text{нагр уст}}$ ) для ВЧЗ 110-220 кВ с КСЗ;
- [050361] Руст нагрузочного режима ИО Z ( $R_{\text{нагр уст}}$ ) и  
[050362] Угол выреза нагрузочного режима ИО Z ( $\varphi_{\text{нагр уст}}$ ) для ВЧЗ 330-750 кВ.

Определим полное и активное сопротивление нагрузки в установившемся режиме:

$$Z_{\text{раб мин}} = \frac{\dot{U}_{\text{ф раб мин}}}{\dot{I}_{\text{ф раб макс}}}, \quad (138)$$

$$R_{\text{раб мин}} = |Z_{\text{раб мин}}| \cdot \cos(\varphi_{\text{раб макс}}), \quad (139)$$

где  $\dot{U}_{\text{ф раб мин}}$  – минимальное фазное рабочее напряжение линии в режиме с  $\dot{I}_{\text{ф раб макс}}$ ;

$\dot{I}_{\text{ф раб макс}}$  – максимальный фазный рабочий ток линии, выбирается наибольший из двух токов, протекающих через полуккомплекты защит по концам линии;

$\varphi_{\text{раб макс}}$  – угол вектора полного сопротивления нагрузки  $Z_{\text{раб мин}}$ .

Уставка по оси R нагрузочного режима определяется на основе расчета минимального сопротивления нагрузки:

$$R_{\text{нагр уст}} = k_{\text{отс}} \cdot R_{\text{раб мин}}, \quad (140)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,83.

Уставка по углу нагрузочного режима определяется на основе максимального угла сопротивления нагрузки:

$$\varphi_{\text{нагр уст}} = \varphi_{\text{раб макс}} + \varphi_{\text{зап}}, \quad (141)$$

где  $\varphi_{\text{зап}}$  – угол запаса, принимается равным  $5^\circ$ .

### 5.2.9 Выбор уставок органа манипуляции

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

### 5.2.9.1 Расчет коэффициента комбинированного фильтра токов без учета нагрузки

Если расчет ТКЗ производился без учета тока нагрузки, то  $k$  выбирается максимальным из полученных по формулам значений:

$$k = 1,5 \cdot \frac{I_{1 \text{ мин}}^{(1,1)} + I_{\text{раб макс}}}{I_{2 \text{ мин}}^{(1,1)}}, \quad (142)$$

$$k = 1,5 \cdot \frac{I_{\text{раб макс}}}{I_{2 \text{ мин}}^{(1)}}, \quad (143)$$

где  $I_{1 \text{ мин}}^{(1,1)}$  – модуль минимального тока ПП при двухфазном КЗ на землю;

$I_{2 \text{ мин}}^{(1,1)}$  – модуль минимального тока ОП при двухфазном КЗ на землю;

$I_{2 \text{ мин}}^{(1)}$  – модуль минимального тока ОП при однофазном КЗ на землю;

$I_{\text{раб макс}}$  – модуль максимального рабочего тока, выбирается наибольший из двух токов, протекающих через полуккомплекты защит по концам линии.

Если коэффициент  $k$  получился больше 10, то надо произвести расчет с учетом тока нагрузки.

### 5.2.9.2 Расчет коэффициента комбинированного фильтра токов с учетом нагрузки

Если расчет ТКЗ производился с учетом тока нагрузки, то для каждого п/к коэффициент  $k$  выбирается максимальным из полученных по формулам значений:

$$k = 1,5 \cdot \frac{I_{1 \text{ мин}}^{(1,1)}}{I_{2 \text{ мин}}^{(1,1)}}, \quad (144)$$

$$k = 1,5 \cdot \frac{I_{1 \text{ мин}}^{(1)}}{I_{2 \text{ мин}}^{(1)}}, \quad (145)$$

где  $I_{1 \text{ мин}}^{(1,1)}$  – минимальный модуль тока ПП при двухфазном КЗ на землю;

$I_{2 \text{ мин}}^{(1,1)}$  – минимальный модуль тока ОП при двухфазном КЗ на землю;

$I_{1 \text{ мин}}^{(1)}$  – минимальный модуль тока ПП при однофазном КЗ на землю;

$I_{2 \text{ мин}}^{(1)}$  – минимальный модуль тока ОП при однофазном КЗ на землю.

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 линии.

### 5.2.9.3 Проверка 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 формулам:

$$k_{\text{ч ман несим}} = \frac{I_{2 \text{ мин}}^{(1,1)} - \frac{I_{1 \text{ мин}}^{(1,1)}}{k}}{I_{2 \text{ бл уст}}}, \quad (146)$$

$$k_{\text{ч ман несим}} = \frac{I_{2 \text{ мин}}^{(1)} - \frac{I_{\text{раб макс}}}{k}}{I_{2 \text{ бл уст}}}, \quad (147)$$

где  $k$  – коэффициент комбинированного фильтра токов;

$I_{1 \text{ мин}}^{(1,1)}$  – минимальный модуль тока ПП при двухфазном КЗ на землю;

$I_{2 \text{ мин}}^{(1,1)}$  – минимальный модуль тока ОП при двухфазном КЗ на землю;

$I_{2 \text{ мин}}^{(1)}$  – минимальный модуль тока ОП при однофазном КЗ на землю.

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

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

Из двух значений выбирается минимальное. Знаки минус означают, что соответствующие векторы, в худшем случае, находятся в противофазе.

Коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ ( $k_{\text{ч ман несим}}$ ) должен быть больше 1,1.

При расчете уставок для линий с тяговой нагрузкой проверка выполняется в системе с источником несимметрии, постоянно находящемся в месте потребителя (п. 5.1.12.1). При расчете коэффициента чувствительности манипуляции уставка  $I_{2 \text{ бл уст}}$  в формулах (146) и (147) заменяется на уставку  $DI_{2 \text{ бл уст}}$ .

#### 5.2.9.4 Проверка коэффициента чувствительности манипуляции при симметричных КЗ

Разрешение на манипуляцию происходит при токе, равном  $I_{2 \text{ бл уст}}$ , поэтому коэффициент чувствительности необходимо определять по формуле:

$$k_{\text{ч ман сим}} = \frac{I_{1 \text{ мин}}^{(3)}}{k \cdot I_{2 \text{ бл уст}}}, \quad (148)$$

где  $I_{1 \text{ мин}}^{(3)}$  – минимальный модуль тока ПП при трехфазном КЗ;

$k$  – коэффициент комбинированного фильтра токов;

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

Коэффициент чувствительности манипуляции при симметричных КЗ ( $k_{\text{ч ман сим}}$ ) должен быть больше 1,1.

При расчете уставок для линий с тяговой нагрузкой проверка выполняется в системе с источником несимметрии, постоянно находящемся в месте потребителя (п. 5.1.12.1). При расчете коэффициента чувствительности манипуляции уставка  $I_{2 \text{ бл уст}}$  в формуле (148) заменяется на уставку  $DI_{2 \text{ бл уст}}$ .

### 5.2.10 Выбор уставок органа сравнения фаз

#### 5.2.10.1 Выбор уставки по углу блокировки органа сравнения фаз

Уставка [103252] Угол блокировки защиты ( $\varphi_{\text{бл уст}}$ ) 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 также, если на линии будут устанавливаться разнотипные защиты: микропроцессорная и электромеханическая (таблица 3). При выборе угла блокировки никаких специальных расчетов проводить не требуется. Наибольший из принятых в защите углов блокировки, равный  $\pm 65^\circ$ , следует использовать на линиях

большой протяженности, где необходимо считаться с конечной скоростью распространения ВЧ сигналов, что дает погрешность в передаче фазы с одного конца линии на другой, равную  $6^\circ$  на 100 км. На линиях средней протяженности, как правило, должен применяться угол блокировки  $\pm 60^\circ$ . При малой протяженности линий –  $\pm 50^\circ$ .

Таблица 3 – Угол блокировки ОСФ для разных длин линии

Длина линии	$\varphi_{\text{бл уст}}$
Больше или равна 150 км	$65^\circ$
От 60 км до 150 км	$60^\circ$
Меньше 60 км	$50^\circ$

Если в приемопередатчике не предусмотрена компенсация времени пробега э/м волны по линии, то необходимо увеличить  $\varphi_{\text{бл уст}}$  на угол поправки  $\varphi_{\text{попр}}$ , рассчитываемый по формуле (19).

Если микропроцессорный п/к используется в режиме совместимости с ЭМ, то  $\varphi_{\text{бл уст}}$  необходимо по возможности корректировать в сторону увеличения.

### 5.2.10.2 Выбор уставки по удлинению сигнала ВЧ приемника

Данная уставка определяется при наладке устройств ВЧЗ после наладки канала связи на объекте. Для определения удлинения ВЧ сигналов, в режиме «ТЕСТИРОВАНИЕ», предусмотрена подача на пуск передатчика тестового прямоугольного сигнала вида «меандр» с периодом 20 мс и длительностями импульса и паузы по 10 мс (рисунок 42). «Свой» и «чужой» приемники принимают тестовый сигнал с выхода только «своего» либо только «чужого» передатчика. На выходах указанных приемников, через показания на дисплеях терминалов, измеряются задержка и отличия сигнала от меандра. Измеренные значения удлинений используются для определения уставки  $t_{\text{удл уст}}$ .

Следует иметь ввиду, что в приемопередатчике сигнал «своего» приемника, формируемый при приеме ВЧ от «своего» передатчика, может формироваться искусственно на основе сигнала [102008] Пуск ВЧ передатчика принимаемого от защиты, а не по каналу связи. При этом устройство защиты принимает от приемопередатчика свой же управляющий сигнал с задержками переднего и заднего фронта, зависящими от выставленных уставок ПП. В таком режиме удлинения задних фронтов «своего» и «чужого» передатчика могут быть практически равными, что нивелирует асимметрию  $\Delta\varphi_{\text{асим}}$  ветвей фазной характеристики относительно  $180^\circ$  (п. 5.1.8.2).

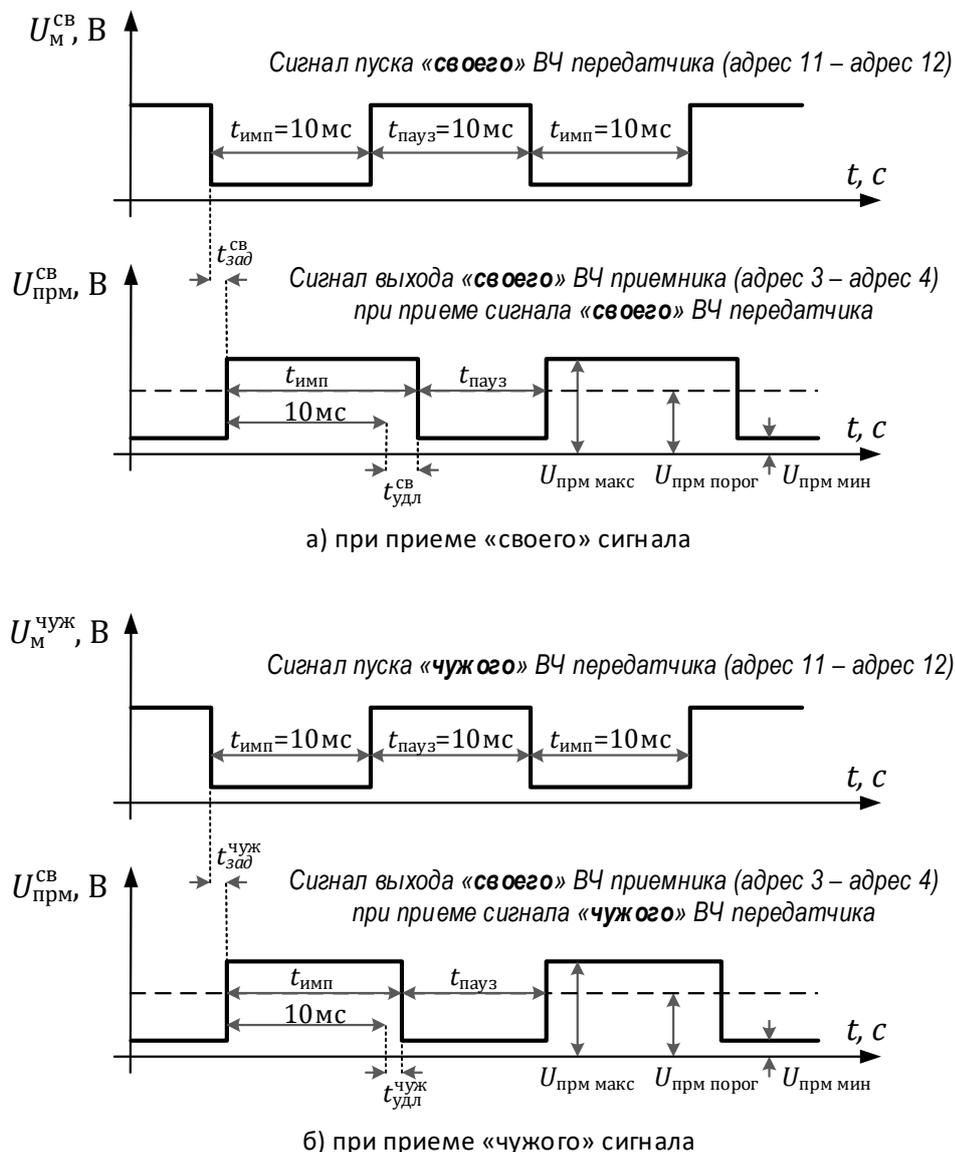


Рис. 42 – Осциллограммы искажений сигнала напряжения манипуляции  $U_M$  на выходе «своего» ВЧ приемника

Примечание – Время  $t_{зад}^{чуж}$  – сдвиг между передними фронтами ВЧ импульса передатчика удаленного конца линии и приемника своего конца линии в терминалах не измеряется.

Процедура измерений при наладке следующая:

1. В полуккомплектах «А» и «Б» устанавливается параметр **Тестирование / Режим теста** в положение «есть» с дальнейшей записью уставок. Светодиод «Режим теста» должен гореть во время всей процедуры измерений.
2. **Только** в полуккомплекте «А» устанавливается параметр **Тестирование / НДЗ / Включение меандра** в положение **есть**, в результате чего п/к «А» производит подачу сигнала вида «меандр» (периодический пуск ВЧ передатчика п/к «А» без подачи токов) и на дисплее каждого п/к в меню **Текущие величины / Текущие аналоговые величины** наблюдаются показания: **Длительность ВЧ импульса**, **Длительность ВЧ паузы**, **Удлинение ВЧ импульса**, **Задержка своего ВЧ импульса**.

Фиксируются полученные значения для обоих полуккомплектов:

$t_{имп}^{AA}$  – длительность ВЧ импульса измеренная в п/к «А»;

$t_{пауз}^{AB}$  – длительность ВЧ паузы измеренная в п/к «Б»;

$t_{удл}^{AA}$  – удлинение ВЧ импульса измеренное в п/к «А»;

$t_{удл}^{AB}$  – удлинение ВЧ импульса измеренное в п/к «Б»;

$t_{зад}^{AA}$  – задержка своего ВЧ импульса измеренная в п/к «А».

3. В полукомплекте «А» отключается генерация сигнала «меандр» установкой параметра **Тестирование / НДЗ / Включение меандра** в положение «нет».

4. **Только** в полукомплекте «Б» устанавливается параметр **Тестирование / НДЗ / Включение меандра** в положение **есть**. Аналогично пункту 2 фиксируются полученные значения для обоих полукомплектов:

$t_{имп}^{BA}$  – длительность ВЧ импульса измеренная в п/к «А»;

$t_{пауз}^{BB}$  – длительность ВЧ паузы измеренная в п/к «Б»;

$t_{удл}^{BA}$  – удлинение ВЧ импульса измеренное в п/к «А»;

$t_{удл}^{BB}$  – удлинение ВЧ импульса измеренное в п/к «Б»;

$t_{зад}^{BB}$  – задержка своего ВЧ импульса измеренная в п/к «Б».

5. В полукомплекте «Б» отключается генерация сигнала «меандр» установкой параметра **Тестирование / ДФЗ / Включение меандра** в положение «нет».

Контроль правильности измерений производится по показаниям  $t_{имп}$  и  $t_{пауз}$  на дисплее каждого из полукомплектов. Во всех случаях суммы  $(t_{имп}^{AA} + t_{пауз}^{AA})$ ,  $(t_{имп}^{BA} + t_{пауз}^{BA})$ ,  $(t_{имп}^{AB} + t_{пауз}^{AB})$ ,  $(t_{имп}^{BB} + t_{пауз}^{BB})$  должны быть равны  $20 \pm 0,125$  мс

Наблюдаемое значение «Задержка своего импульса» активно только при приеме сигнала «своего» ВЧ передатчика и служит для оценки приблизительного равенства задержки «своего» ВЧ сигнала для обоих полукомплектов ВЧ приемопередатчиков ( $t_{зад}^{AA} \approx t_{зад}^{BB}$ ). Задержка для приемопередатчиков ПВЗУ-Е, ПВЗ 90М1 должна находиться в пределах [0,1 - 0,5] мс, а для аппаратуры «Авант», «Линия-Р» в пределах [2,0 - 6,0] мс. Неодинаковость указанной задержки для обоих полукомплектов приводит к дополнительной асимметрии ветвей фазной характеристики ОСФ.

Если зафиксированные значения отвечают вышеуказанным требованиям, по их значениям вычисляются и заносятся значения  $t_{удл\ уст}$  для обоих полукомплектов.

Для полукомплекта «А» заносится уставка, вычисленная по формуле:

$$t_{удл\ уст}^A = \frac{t_{удл}^{AA} + t_{удл}^{BA}}{2}, \quad (149)$$

Для полукомплекта «Б» заносится уставка, вычисленная по формуле:

$$t_{удл\ уст}^B = \frac{t_{удл}^{BB} + t_{удл}^{AB}}{2}, \quad (150)$$

Полученные значения уставок должны находиться в пределах [0 - 2,0] мс.

## 5.2.11 Выбор уставок по времени

Функциональная логическая схема, на которой расположены описанные в текущем пункте выдержки времени приведена в приложении 1.

### 5.2.11.1 [103351] DT1\_ДФЗ Задержка пуска ДФЗ

Если п/к защиты расположенный на удаленном конце линии является устройством микропроцессорной РЗ производства ООО НПП «ЭКРА» либо устройством РЗ выполненной на электромеханическом принципе, то выдержка времени **DT1\_ДФЗ** выбирается равной 0,010 с, что в большинстве случаев обеспечивает надежное несрабатывание защиты при внешних КЗ на удаленном конце линии. При выявлении переходных процессов, замедляющих пуск блокирующего ВЧ сигнала при внешних КЗ, уставка может быть увеличена вплоть до 0,050 с.

Если п/к на удаленном конце линии является устройством микропроцессорной РЗ других производителей, то **DT1\_ДФЗ** выставляется в соответствии с нормативными документами соответствующих ведомств о совместной работе устройств разных производителей.

#### Примечания

1 Для объектов ФСК ЕЭС см. СТО 56947007-29.120.70.196-2014.

2 Совместная работа с ДФЗ на электромеханическом принципе активируется программной накладкой **[103452] XB11\_ДФЗ Совместная работа с ЭМ ДФЗ**, которая автоматически подключает в цепи пуска ОСФ нерегулируемую выдержку времени 0,010 с, что соответствует времени срабатывания промежуточного реле постоянного тока 2-5РП в схемах ДФЗ-201 и ДФЗ-504.

Выдержка времени **DT1\_ДФЗ** также может быть увеличена для предотвращения пусков защиты при ударах молнии, которые характеризуются появлением аварийной составляющей тока длительностью около четверти периода промышленной частоты. В ДФЗ 110-220 кВ при этом возможно ОТФ с последующим успешным включением от ТАПВ. В ДФЗ 330-750 кВ из-за относительно медленного возврата ПО по приращению и инерционности ОСФ возможна фиксация пуска ОАПВ после возврата ЗИПФ и как следствие ОТФ после выдержки времени **[152338] DT5\_ОАПВ Резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ**.

Выдержки времени **DT1\_ДФЗ** для обоих полуккомплектов выбираются одинаковыми.

### 5.2.11.2 [103352] DT2\_ДФЗ Время блокировки при НЦН для ВЛ с ответвлениями

Выдержка времени используется при выставлении **[103401] XB1\_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями** в положение **0 - предусмотрена** и **[103402] XB2\_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями при НЦН** в положениях **2 - блокируется на время** и **3 - контролируется на время**.

Выдержка времени используется для резервирования защит на стороне НН трансформатора ответвления если неселективное отключение ВЛ при КЗ на стороне НН трансформатора не допускается даже в режиме неисправности цепей напряжения. Величина выдержки времени определяет через какой промежуток времени неустранения КЗ на низкой стороне трансформатора ответвления можно производить отключение ВЛ и может выбираться исходя из времени срабатывания как быстродействующих, так и медленнодействующих защит стороны НН. Для длительной блокировки без функции резервирования выдержка времени **DT2\_ДФЗ Время блокировки при НЦН для ВЛ с ответвлениями** выставляется в максимальное значение из диапазона **(0.040 - 15.000)**.

### 5.2.11.3 [103353] DT3\_ДФЗ Задержка сигнала отключения ДФЗ

Из-за свойства инерционности ОСФ для предотвращения излишнего действия ДФЗ на отключение рекомендуется использовать регулируемую задержку **DT1\_ДФЗ** и/или уставку по углу блокировки. А значение **DT3\_ДФЗ** при этом оставить равной нулю.

Задержка **DT3\_ДФЗ** может быть использована для выполнения требований различных ведомств по замедлению действия ДФЗ, основанных на опыте эксплуатации электромеханических панелей ДФЗ. Выставляемая величина задержки при этом соответствует времени замедления выходных цепей ОСФ электромеханических панелей при замене реле РП 223 на реле РП 225 [14]. Причем, из-за свойств инерционности ОСФ, величина должна задаваться с запасом и шагом кратно периоду промышленной частоты.

### 5.2.11.4 [104303] DT3\_НВЧ3 Доп.задержка НВЧ3 при раб.с ЭМ и МП др.производителей, [105303] DT3\_ВЧБ Задержка останова ВЧ передатчика

Логика направленных ВЧ3 выполнена с приоритетом отключающих органов над блокирующими, поэтому время возврата отключающего РНМ удаленного п/к защиты в условиях реверса мощности должно быть меньше суммарного времени срабатывания отключающего РНМ и выдержек времени в канале отключения своего п/к защиты. Время возврата зависит от длительности переходного процесса переориентации мощности в первичной сети, а также от типа защиты (электромеханика, микроэлектроника), а для микропроцессорных защит, от программной реализации реле.

Если п/к на удаленном конце линии на микропроцессорном принципе производства ООО НПП «ЭКРА», то **DT3\_НВЧ3** не используется, а **DT3\_ВЧБ** выставляется равной минимальному значению уставки **0.025**.

Если п/к на удаленном конце линии выполнен на микропроцессорном принципе других производителей, то **DT3\_НВЧ3** и **DT3\_ВЧБ** выставляются в соответствии с нормативными документами соответствующих ведомств о совместной работе устройств разных производителей.

Примечание – Для объектов ФСК ЕЭС см. СТО 56947007-29.120.70.196-2014.

Если удаленный п/к выполнен на электромеханическом принципе, то в **[104901] НВЧ3** необходимо выставить **DT3\_НВЧ3** равной измеренному времени возврата РНМОП электромеханической панели, а в **[105901] ВЧБ – DT3\_ВЧБ** равной измеренному времени возврата РНМНП электромеханической панели. Временем запаса в данном случае будет служить время срабатывания РНМ и суммарное время нерегулируемых задержек в канале отключения своего п/к. Нерегулируемая задержка в цепи контроля **[012010] ПО 310, отключающий** от **[011006] ПО БТНТ** в логике **ВЧБ** не учитывается, так как **ПО 310, отключающий** сработает до реверса мощности.

В **[104901] НВЧ3** вышеупомянутая задержка используется при выставлении программной накладки **XB9\_НВЧ3** в положение **3 - ЭМ панель**. Также у этой накладки существует дополнительное положение **ПДЭ-2802**, подключающее в канал отключения фиксированное время, используемое при установке на удаленном конце линии полуккомплекта, выполненного на полупроводниковом принципе.

### 5.2.11.5 [104301] DT1\_НВЧ3 Время ввода Zot от БК, [105301] DT1\_ВЧБ Время ввода Zot от БК

Время ввода **[010073] ИО Z АВ, отключающий,** **[010074] ИО Z ВС, отключающий,** **[010075] ИО Z СА, отключающий** от логики БК ВЧ3 выбираются исходя из времени полной ликвидации повреждения, которое вычисляется по формуле:

$$DT1\_HBЧЗ(DT1\_BЧБ) = t_{cp\ PO/IO} + t_{KO} + t_{откл\ В} + t_{зап}, \quad (151)$$

где  $t_{cp\ IO}$  – максимальное время срабатывания ИО Z, действующего в цепи отключения, принимается равным 20 мс;

$t_{KO}$  – суммарная задержка в канале отключения, для [104901] HBЧЗ равная 15 мс плюс время зависящее от положения накладки [104359] XB9\_HBЧЗ Совместная работа с другим типом HBЧЗ (0, 10 мс или уставка [104303] DT3\_HBЧЗ Дополнительная задержка HBЧЗ при работе с ЭМ), а для [105901] BЧБ равная 15 мс плюс уставка [105303] DT3\_BЧБ Задержка останова ВЧ передатчика;

$t_{откл\ В}$  – время отключения выключателя по паспорту;

$t_{зап}$  – время запаса, принимается равным 0,1 с.

#### 5.2.11.6 [104302] DT2\_HBЧЗ Время вывода Zот от БК, [105302] DT2\_BЧБ Время вывода Zот от БК

Время вывода (запрет повторного ввода) [010073] ИО Z АВ, отключающий, [010074] ИО Z ВС, отключающий, [010075] ИО Z СА, отключающий от логики БК ВЧЗ выбираются исходя из времени срабатывания самой медленной ступени ДЗ от междуфазных КЗ, установленных на линии, и вычисляется по формуле:

$$DT2\_HBЧЗ(DT2\_BЧБ) = t_{cp\ IO} + t_{ст\ ДЗ} + t_{откл\ В} + t_{зап}, \quad (152)$$

где  $t_{cp\ IO}$  – максимальное время срабатывания ИО Z самой медленной ступени ДЗ, принимается равным 20 мс;

$t_{ст\ ДЗ}$  – задержка на срабатывание самой медленной ступени ДЗ, установленной на линии;

$t_{откл\ В}$  – время отключения выключателя по паспорту;

$t_{зап}$  – время запаса, принимается равным 1,0 с.

#### 5.2.11.7 [105304] DT4\_BЧБ Продление пуска ВЧ передатчика при однофазных КЗ

Время продления действия сигнала срабатывания [012009] ПО 310, блокирующий на пуск ВЧ передатчика служит для предотвращения возможного излишнего действия на отключение удаленного п/к при быстром возврате после устранения внешнего КЗ указанного ПО в своем полукомплексе.

Если на удаленном конце линии установлен микропроцессорный п/к защиты уставка DT4\_BЧБ выставляется равной минимальному значению из допустимого диапазона (0.040 - 0.400).

Если на удаленном конце линии установлен электромеханический п/к защиты типа ЭПЗ/ПЗ, то есть программная накладка [105359] XB9\_BЧБ Совместная работа с ЭМ BЧБ установлена в положение 1 - предусмотрена, уставка вычисляется по формуле:

$$DT4\_BЧБ = t_{в\ IO\ от} - t_{в\ ПО\ бл} + t_{зап}, \quad (153)$$

где  $t_{в\ IO\ от}$  – максимально измеренное время возврата РНМНП электромеханической панели, действующего на отключение;

$t_{в\ ПО\ бл}$  – минимальное время возврата [012009] ПО 310, блокирующий, принимается равным 0 с (пренебрегается)

$t_{зап}$  – время запаса, принимается равным 0,1 с.

#### 5.2.11.8 [105305] DT5\_BЧБ Продление сигнала РПО

Выдержка времени задается для программной накладки [105351] XB1\_BЧБ Вывод защиты от КЗ на землю при вкл.В установленной в положение 0 - предусмотрен.

При включении линии в транзит с разновременностью включения фаз выключателя возможно излишнее действие **[011001] ИО М0, разрешающий** и **[012010] ПО 3Ю, отключающий** на отключение от тока нагрузки, текущего в линию. Для предотвращения этого в логике предусмотрено время продления действия сигнала **[050052] РПО** на блокировку органов по НП в канале отключения, которое выбирается по формуле:

$$DT5\_ВЧБ = \Delta t_{\text{в РПО}} + \Delta t_{\text{разновр вкл фаз В}} + t_{\text{возв ПО/ИО}} - t_{\text{ср ПО/ИО}} - DT3\_ВЧБ + t_{\text{зап}}, \quad (154)$$

где  $\Delta t_{\text{в РПО}}$  – разница между моментом включения выключателя по паспорту и моментом возврата сигнала **[050052] РПО**, для сигнала формируемого шкафом АУВ принимается равным времени включения выключателя по паспорту;

$\Delta t_{\text{разновр вкл фаз В}}$  – максимальное время разновременности включения фаз выключателя по паспорту;

$t_{\text{в ПО/ИО}}$  – минимальное время из двух максимальных времен возврата **[012010] ПО 3Ю, отключающий** и **[011001] ИО М0, разрешающий**, принимается равным 0,04 с;

$t_{\text{ср ПО/ИО}}$  – максимальное время из двух минимальных времен срабатывания **[012010] ПО 3Ю, отключающий** и **[011001] ИО М0, разрешающий**, принимается равным 0,005 с;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,04 с.

### 5.2.12 Назначение программных переключателей ХВ для ВЧЗ 110-220 кВ

Функциональная логическая схема, на которой расположены описанные в текущем пункте программные накладки приведена в приложении 1 (рисунки 43, 45, 46).

#### 5.2.12.1 [103401] ХВ1\_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями, [104351] ХВ1\_НВЧЗ Работа на ВЛ с ответвлениями

Если один из удаленных концов многоконцевой линии является пассивным ответвлением (п. 5.1.10.1), при этом блокирующий или полный полукомплект ВЧЗ на нем не устанавливается, то во всех полукомплектах программные накладки **ХВ1\_ДФЗ** и **ХВ1\_НВЧЗ** выставляются в положение **0 - предусмотрена**.

При этом в логике автоматически вводится контроль канала отключения от органов контроля повреждений на ответвлении: **[011001] ИО М0, разрешающий** с блокировкой от **[011006] ПО БТНТ** для **[103901] ДФЗ** либо **[012010] ПО 3Ю, отключающий** с блокировкой от **[011006] ПО БТНТ** для **[104901] НВЧЗ**, а также **[010032] ИО Z АВ, ответвления**, **[010033] ИО Z ВС, ответвления**, **[010034] ИО Z СА, ответвления** для контроля междуфазных и симметричных КЗ.

Для **[104901] НВЧЗ** по накладке **ХВ1\_НВЧЗ** также вводится дополнительный контроль от **[012015] ПО 3Ю** отсечки.

#### 5.2.12.2 [105351] ХВ1\_ВЧБ Вывод защиты от КЗ на землю при вкл.В

При включении линии в транзит с разновременностью включения фаз выключателя в обоих п/к **[105901] ВЧБ** возможно излишнее действие **[011001] ИО М0, разрешающий** и **[012010] ПО 3Ю, отключающий** на отключение от тока нагрузки, текущего в линию. Поэтому при использовании выключателя с пофазным приводом рекомендуется выставить программную накладку **ХВ1\_ВЧБ** в положение **0 - предусмотрен** и рассчитать выдержку времени **[105305] DT5\_ВЧБ Продление сигнала РПО**. Для сохранения быстродействия **ВЧБ** при включении линии на КЗ рекомендуется выставлять накладку в положение **0 - предусмотрен** только на стороне, включающейся второй.

Однако, для случая, когда на стороне линии, включающейся первой, отстроиться от емкостных токов не представляется возможным, программную накладку можно выставить в указанное положение на обоих концах линии (п. 5.2.5.4).

При использовании выключателя с трехфазным приводом накладка выставляется в положение **1 - не предусмотрен**, так как **[012010] ПО 3I0, отключающий** вернется быстрее, чем наберется задержка в канале отключения **DT3\_ВЧБ** и нерегулируемое время 0,015 с.

Программную накладку **XB1\_ВЧБ** можно выставить в положение **0 - предусмотрен** если действие **ВЧБ** при ТАПВ или ОЛ не требуется, например, по причине автоматического ускорения КСЗ.

### 5.2.12.3 [103402] XB2\_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями при НЦН

Программная накладка используется при выставлении **[103401] XB1\_ДФЗ Работа на ВЛ с ответвлениями** в положение **0 - предусмотрена**.

При возникновении неисправности в цепях напряжения в ДФЗ блокируются все органы, рабочая величина которых не может формироваться без участия напряжения, в том числе и органы выявления повреждения на ответвлении. Если при КЗ на низкой стороне трансформатора ответвления допускается отключение ВЛ, то накладка **XB2\_ДФЗ** выставляется в положение **1 - не контролируется**, в противном случае накладка выставляется в положение **2 - блокируется на время** или **3 - контролируется на время** в соответствии с нормативными документами соответствующих ведомств о работе основных защит линии при неисправности цепей напряжения. При этом необходимо выставить задержку **[103352] DT2\_ДФЗ Время блокировки при НЦН для ВЛ с ответвлениями**.

Примечание – Как правило, сценарии поведения основных защит линии при неисправности цепей напряжения определяются количеством установленных комплектов основных защит линии и количеством установленных ТН, напряжения которых подводятся к терминалам указанных комплектов (см приказ Минэнерго России от 10 февраля 2020 года № 546).

### 5.2.12.4 [104352] XB2\_НВЧЗ Действие БНН на пуск ВЧ передатчика, [105352] XB2\_ВЧБ Действие БНН на пуск ВЧ передатчика

В отличие от ДФЗ в направленных защитах **[104901] НВЧЗ** и **[105901] ВЧБ** при неисправностях в цепях напряжения автоматической блокировки органов, использующих напряжение, не производится. Так как функции **НВЧЗ** и **ВЧБ** по принципу действия не могут сохранить работоспособность при НЦН даже частично, на объекте рекомендуется принять меры по автоматическому вводу аварийных токовых защит (ОУ **[108901] ТНЗНП** и/или **[112902] АМТЗ** если таковая имеется в составе защит).

Для объектов где длительные ВЧ сигналы допустимы программная накладка **XB2\_НВЧЗ** выставляется в положение **1 - предусмотрено**, в противном случае обе защиты по концам линии выводятся из работы вручную оперативным персоналом.

### 5.2.12.5 [103403] XB3\_ДФЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой, [104353] XB3\_НВЧЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой

На линиях со сквозной или ответвительной тяговой нагрузкой (п. 5.1.12.1) программные накладки **XB3\_ДФЗ** и **XB3\_НВЧЗ** выставляются в положение **0 - предусмотрена**.

При этом в логике **[103901] ДФЗ** и **[104901] НВЧЗ** автоматически:

- блокируются **[012007] ПО I2, блокирующий** и **[012008] ПО I2, отключающий**;

- вводятся в работу **[013001] ПО DI1, блокирующий, [013002] ПО DI1, отключающий, [013003] ПО DI2, блокирующий, [013004] ПО DI2, отключающий.**

В логике **ДФЗ** также автоматически:

- переключается исходная величина для расчета порога срабатывания **ОМ** с **[103203] Icp ПО I2, блокирующий** на **[103207] Icp ПО DI2, блокирующий**
- вводятся в работу дополнительные **[012009] ПО 3I0, блокирующий** и **[012010] ПО 3I0, отключающий**

В логике **НВЧЗ** также автоматически блокируется **[012013] ПО I2т, пускающий**.

Так как в устаревших ЭМ и полупроводниковых панелях органов по приращению не предусмотрено, то режим с тяговой нагрузкой автоматически выводится при выставлении программных накладок, соответствующих активации режима совместимости с устаревшими типами ВЧЗ.

#### **5.2.12.6 [103404] ХВ4\_ДФЗ Пуск ВЧ при выводе защиты, [104354] ХВ4\_НВЧЗ Пуск ВЧ при выводе защиты, [105354] ХВ4\_ВЧБ Пуск ВЧ при выводе защиты**

Если на объекте длительные ВЧ сигналы допустимы, то при выводе из действия своего п/к **ДФЗ** (возврат сигнала **[102003] ВЧЗ введена**) целесообразно производить пуск сплошного ВЧ сигнала для вывода из действия удаленного п/к. Для этого необходимо выставить программные накладки **ХВ4\_ДФЗ, ХВ4\_НВЧЗ** и **ХВ4\_ВЧБ** в положение **1 - предусмотрен**.

Если на объекте длительные ВЧ сигналы не допустимы программные накладки выставляются в положение **0 - не предусмотрен**, а вывод удаленного п/к производится оперативным персоналом.

#### **5.2.12.7 [103405] ХВ5\_ДФЗ Сигнализация пуска на отключение, [104355] ХВ5\_НВЧЗ Сигнализация пуска на отключение, [105355] ХВ5\_ВЧБ Сигнализация пуска на отключение**

Программная накладка служит для блокировки формирования сигнала **[102010] Пуск защиты**, который может быть использован для сигнализации.

#### **5.2.12.8 [103406] ХВ6\_ДФЗ ПО DI**

Программная накладка служит для принудительного ввода в работу **[013001] ПО DI1, блокирующий, [013002] ПО DI1, отключающий, [013003] ПО DI2, блокирующий, [013004] ПО DI2, отключающий.**

ПО по приращению вектора тока могут вводиться в работу при нехватке чувствительности **[012012] ПО Iл (АВ) (ДФЗ), отключающий** или для ускорения пуска защиты при всех видах КЗ, однако следует помнить, что они подвержены излишним срабатываниям при коммутациях токов нагрузки.

#### **5.2.12.9 [104356] ХВ6\_НВЧЗ Действие I2т от**

Программная накладка служит для ввода в работу **[012014] ПО I2т, отключающий**, который действует в канал отключения, независимо от срабатывания **[011003] ИО M2 (НВЧЗ), отключающий** и только при отсутствии срабатывания **[015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий.**

ПО вводится в работу на объекте где сопротивлением по ОП системы за спиной своего конца линии недостаточно для срабатывания **[015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий** (мощная энергосистема).

Для режима работы с тяговой нагрузкой, когда **XB3\_НВЧ3** выставляется в положение **0 - предусмотрена**, автоматически вводится контроль действия **[012014] ПО I2т, отключающий** от продленных на 0,15с сигналов срабатывания **[013001] ПО DI1, блокирующий** и **[013002] ПО DI1, отключающий**.

#### 5.2.12.10 [105356] XB6\_ВЧБ Блокирование действия ДЗ при срабатывании ПО по 3I0

Программная накладка служит для блокирования действия **[010073] ИО Z АВ, отключающий**, **[010074] ИО Z ВС, отключающий**, **[010075] ИО Z СА, отключающий** в канал отключения при срабатывании **[012010] ПО 3I0, отключающий**. Таким образом ИО сопротивления, используемые в логике для отключения двухфазных КЗ без земли и симметричных КЗ, блокируются при однофазных и двухфазных КЗ на землю, где их действие не требуется. Для повышения селективности защиты при внешних двухфазных КЗ на землю за шинами удаленного п/к целесообразно выставить программную накладку **XB6\_ВЧБ** в положение **1 - предусмотрено**, однако при близких двухфазных КЗ без земли и симметричных КЗ с насыщением ТТ возможно замедление действия **[105901] ВЧБ** на отключение.

#### 5.2.12.11 [105357] XB7\_ВЧБ Блокирование действия ДЗ при срабатывании ПО по 3U0

Программная накладка служит для блокирования действия **[010073] ИО Z АВ, отключающий**, **[010074] ИО Z ВС, отключающий**, **[010075] ИО Z СА, отключающий** в канал отключения при срабатывании **[015006] ПО 3U0, отключающий**. Таким образом ИО сопротивления, используемые в логике для отключения двухфазных КЗ без земли и симметричных КЗ, блокируются при однофазных и двухфазных КЗ на землю, где их действие не требуется. Для повышения селективности защиты при удаленных внешних двухфазных КЗ на землю за шинами удаленного п/к целесообразно выставить программную накладку **XB7\_ВЧБ** в положение **1 - предусмотрено**.

#### 5.2.12.12 [103407] XB7\_ДФЗ ПО 3I0

Программная накладка служит для принудительного ввода в работу **[012009] ПО 3I0, блокирующий** и **[012010] ПО 3I0, отключающий**.

ПО по току НП могут вводиться в работу при нехватке чувствительности **[012008] ПО I2, отключающий**, однако следует помнить, что принцип действия ОСФ ДФЗ (п. 5.1.7) основан на косвенном сравнении векторов токов  $\dot{I}_{КФ}$  в состав которых нулевая последовательность не входит, что чревато отказом ДФЗ при нехватке чувствительности ОМ (п. 5.2.9.3 и 5.2.9.4).

#### 5.2.12.13 [104357] XB7\_НВЧ3 Ускорение НВЧ3 при вкл.В

Программная накладка служит для разрешения самостоятельного (не зависимо от наличия блокирующего ВЧ сигнала) действия на отключение при ТАПВ и ОЛ следующих органов:

- **[010026] ИО Z АВ с охв., блокирующий**, **[010027] ИО Z ВС с охв., блокирующий**,  
**[010028] ИО Z СА с охв., блокирующий**;
- **[010073] ИО Z АВ, отключающий**, **[010074] ИО Z ВС, отключающий**,  
**[010075] ИО Z СА, отключающий**;
- **[012008] ПО I2, отключающий** либо **[013002] ПО DI1, отключающий** и  
**[013004] ПО DI2, отключающий**.

Действие контролируется по схеме "И" с сигналом **[050003] Ввод АУ**, а также органами контроля повреждений на ответвлении если соответствующий режим выставлен программной накладкой **XB1\_НВЧ3**. Так как

для контроля междуфазных и симметричных КЗ на ответвлении применяются междуфазные ИО сопротивления без охвата ноля, то для контроля близких междуфазных и симметричных КЗ по схеме "ИЛИ" с основными контролирующими органами включены **[010029] ИО Z АВ с охв., отключающий, [010030] ИО Z ВС с охв., отключающий, [010031] ИО Z СА с охв., отключающий** (рисунок 20).

Если выключателем включается или отключается нагрузка, то из-за одновременности коммутации фаз выключателя появляются значительные токи и напряжения ОП. Величина тока ОП зависит от величины тока нагрузки, а величина напряжения ОП – от величины тока нагрузки и сопротивления системы за спиной. Таким образом, если удаленный конец линии включен, либо на линии есть ответвление, то чувствительности **[012008] ПО I2, отключающий** и **[015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий** в неполнофазном нагрузочном режиме может хватить для их срабатывания. Поэтому в таких случаях для блокировки основного канала отключения **[104901] НВЧЗ** при любых операциях с выключателем линии производится пуск ВЧ от дискретного сигнала, принимаемого на программируемом входе **[102704] Прием сигнала 'Внешний пуск ВЧ'** и продленным на время 0,25 с.

Если на линии нет ответвлений (определяется соответствующим положением программной накладки **XB1\_НВЧЗ**) и тяговой нагрузки, а **[012008] ПО I2, отключающий** отстроен от емкостных токов линии и/или сопротивление системы за спиной небольшое (мощная энергосистема), то на стороне линии, включающейся первой производить пуск ВЧ при коммутациях выключателя не обязательно. Если на линии нет ответвлений, но есть тяговая нагрузка (определяется соответствующим положением программной накладки **XB3\_НВЧЗ**), то необходимость пуска ВЧ определяется чувствительностью **[015005] ПО U2 (НВЧЗ), отключающий** к тяговой несимметрии в напряжении, величиной емкостных токов и сопротивления системы за спиной.

В итоге, если на стороне линии, включающейся первой, при каждом включении выключателя производится пуск блокирующего ВЧ сигнала, то программную накладку **XB7\_НВЧЗ** рекомендуется выставлять в положение **1 - предусмотрено**. При этом включение удаленной стороны линии (второй по очередности) должно производиться с пуском ВЧ и только после возврата сигнала **[050003] Ввод АУ** в своем п/к защиты.

Программную накладку **XB7\_НВЧЗ** можно выставить в положение **0 - не предусмотрено** если действие **НВЧЗ** при ТАПВ или ОЛ не требуется, например, по причине автоматического ускорения КСЗ. По этой же причине можно производить пуск ВЧ от АПВ на обоих концах линии.

#### **5.2.12.14 [104358] XB8\_НВЧЗ Ускоренный возврат БК при откл.В, [105358] XB8\_ВЧБ Ускоренный возврат БК при откл.В**

Программная накладка служит для сброса в цикле АПВ триггера БК, блокирующего повторное формирование сигнала **[102018] Ввод Зот от БК** при включении на неустранившееся КЗ.

Программные накладки **XB8\_НВЧЗ** и **XB8\_ВЧБ** выставляются в положение **1 - предусмотрен** при корректном формировании (от шкафа АУВ, а не блок-контактов выключателя) сигнала **[050052] РПО**, который должен шунтироваться во время включения выключателя.

Программную накладку **XB8\_НВЧЗ** можно выставить в положение **0 - не предусмотрен** если действие **НВЧЗ** при ТАПВ не требуется, например, по причине автоматического ускорения КСЗ. Однако при этом возможно замедление отключения КЗ, возникших после возврата сигнала **[050003] Ввод АУ**.

**5.2.12.15 [104359] XB9\_НВЧЗ Совместная работа с другим типом НВЧЗ**

Если на удаленном конце линии установлена полупроводниковая панель ПДЭ-2802, то программная накладка **XB9\_НВЧЗ** выставляется в положение **2 - ПДЭ-2802**.

Если на удаленном конце линии установлена электромеханическая панель типа ПЗ или микропроцессорный шкаф НВЧЗ другого производителя, то программная накладка **XB9\_НВЧЗ** выставляется в положение **3 - ЭМ и МП др.производителей**.

Следует иметь ввиду, что активация режима совместной работы с полупроводниковыми и ЭМ панелями автоматически деактивирует режим с тяговой нагрузкой не зависимо от положения программной наклейки **[104353] XB3\_НВЧЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой**.

**5.2.12.16 [105359] XB9\_ВЧБ Совместная работа с ЭМ ВЧБ**

Если на удаленном конце линии установлена электромеханическая панель типа ПЗ, то программная накладка **XB9\_ВЧБ** выставляется в положение **1 - предусмотрена**. При этом логика БК ВЧБ переключается с ПО DI на **[012013] ПО I2т, пускающий**.

**5.2.12.17 [105360] XB10\_ВЧБ Контроль M0от от ПО 3U0от**

Если **[012010] ПО 3I0, откл.** невозможно отстроить от тока небаланса при внешних симметричных КЗ или качаниях, то программная накладка **XB10\_ВЧБ** выставляется в положение **0 - предусмотрен**. При этом в логике действия **[011001] IO M0, разрешающий** в канал отключения дополнительно вводится контроль от **[015006] ПО 3U0, откл.**

**5.2.12.18 [103451] Совм.раб.с МП ДФЗ до вер.2хх включ-но и др.производителей**

Если на удаленном конце линии установлен микропроцессорный шкаф ДФЗ производства ООО НПП «ЭКРА» с версией ПО терминала до 2хх включительно, либо установлен микропроцессорный шкаф ДФЗ другого производителя, то программная накладка выставляется в положение **1 - предусмотрена**.

При этом внутренний алгоритм фильтров тока и напряжения ОП, используемых в ПО и ОМ ДФЗ переключается с частотно-компенсированного ( $k_f = 0$ ) на классический ( $k_f = 0,23$ ).

**5.2.12.19 [103452] XB11\_ДФЗ Совместная работа с ЭМ ДФЗ, [103453] Тип ЭМ ДФЗ, [103454] Инверсия выхода ОМ, [103455] Доворот Iкф на угол (ДФЗ-201), [103456] Доворот Iкф на угол (ДФЗ-504), [103457] ПО Iл ДФЗ в режиме совм. с ЭМ ДФЗ**

Если на удаленном конце линии установлена электромеханическая панель ДФЗ, то программная накладка **XB11\_ДФЗ** выставляется в положение **1 - предусмотрена**. При этом в логике автоматически и независимо от положения других накладок:

- блокируются **[013001] ПО DI1, блокирующий, [013002] ПО DI1, отключающий, [013003] ПО DI2, блокирующий, [013004] ПО DI2, отключающий, [012009] ПО 3I0, блокирующий, [012010] ПО 3I0, отключающий;**
- вводятся в работу **[012007] ПО I2, блокирующий и [012008] ПО I2, отключающий;**

При этом в электромеханическом полукомплекте удаленного конца линии также следует принять меры по организации совместной работы (п. 5.1.6.2).

Положение программной накладки **Тип ЭМ ДФЗ** определяется типом ЭМ панели ДФЗ, применяемой в качестве п/к на удаленном конце линии.

Положение программной накладки **ПО Iл ДФЗ в режиме совм. с ЭМ ДФЗ** определяется способом соединения обмоток реле 1-1РТ(1-РТ1) и 1-2РТ(1-РТ2) в ЭМ панели ДФЗ, применяемой в качестве п/к на удаленном конце линии. В типовых исполнениях ЭМ панелей, обмотки указанных реле включаются на ток фазы В, однако в соответствии с распоряжением Мосэнерго №564 [15] схема включения обмоток должна быть изменена на междуфазный ток АВ.

Положения остальных программных накладок: **Инверсия выхода ОМ, Доворот Iкф на угол (ДФЗ-201), Доворот Iкф на угол (ДФЗ-504)** определяются во время наладки и снятия фазной характеристики (п. 5.1.7.4), которая в свою очередь производится после наладки канала связи на объекте.

Следует иметь в виду, что активация режима совместной работы с ЭМ панелями автоматически деактивирует режим с тяговой нагрузкой не зависимо от положения программной накладки **[103403] ХВ3\_ДФЗ Работа в сети с тяговой нагрузкой**.

### 5.2.13 Назначение программных переключателей ХВ для ВЧЗ 330-750 кВ

Функциональная логическая схема, на которой расположены описанные в текущем пункте программные накладки приведена в приложении 1 (рисунок 44).

#### 5.2.13.1 [103401] ХВ1\_ДФЗ Вывод ДФЗ при НЦН

Работоспособность ДФЗ 330-750кВ при возникновении неисправности цепей напряжения (НЦН) определяется:

- необходимостью использования **[015001] ПО U2 (ДФЗ), блокирующий** и **[015002] ПО U2 (ДФЗ), отключающий**, определяемой положением программной накладки **[103402] ХВ2\_ДФЗ ПО U2**;
- необходимостью использования КЕТ для текущей длины линии и текущих уставок (п. 5.2.13.8).

Если программная накладка **[103402] ХВ2\_ДФЗ ПО U2** выставлена в положение **1 - в работе**, то для объектов где длительные ВЧ сигналы допустимы логика предусматривает пуск манипулированного ВЧ сигнала непосредственно от сигнала **[050001] НЦН**. Таким образом исключается односторонний пуск удаленного п/к из-за нехватки чувствительности органов по току своего п/к. Для объектов где длительные ВЧ сигналы не допустимы необходимо либо игнорировать НЦН, приняв режим понижения чувствительности ДФЗ, либо выводить ДФЗ из действия с автоматическим или оперативным вводом аварийных токовых защит (ОУ **[108901] ТНЗНП, [112902] АМТЗ**)

Для вывода действия ДФЗ от сигнала **[050001] НЦН** программная накладка **ХВ1\_ДФЗ** выставляется в положение **1 - предусмотрен**. При этом происходит возврат сигнала **[102035] ВЧЗ выведена инверсный** в несработанное состояние и, как следствие, блокировка формирования сигнала **[102036] Действие ВЧЗ** на своем конце линии. При этом для вывода из действия удаленного п/к необходимо выставить программную накладку **[103403] ХВ3\_ДФЗ Пуск ВЧ при выводе защиты** в соответствующее положение (п. 5.2.13.8).

#### 5.2.13.2 [104360] ХВ1\_НВЧЗ Пуск ВЧ на откл.стор.ВЛ от УКЕТ

Для предотвращения излишнего срабатывания защиты при включении ВЛ с источником несимметрии, например неполнофазным режимом работы шунтирующих реакторов, по аналогии с ДФЗ предусматривается пуск ВЧ

сигнала на отключенном конце ВЛ в условиях отсутствия срабатывания **[012001] ПО тока выключателей ф.А, [012002] ПО тока выключателей ф.В, [012003] ПО тока выключателей ф.С.** Для этого программная накладка **XB1\_НВЧЗ** выставляется в положение **1 - предусмотрен.** После включения второго конца ВЛ в транзит логический сигнал **[104008] ИО М2 (НВЧЗ), блокирующий** возвращается в несработавшее состояние и пуск ВЧ сигнала прекращается.

Для успешного включения ВЛ в данном режиме может также потребоваться загрузка уставок **[012010] ПО 310 при вкл.В** логики опробования либо полное его отключение программной накладкой **[104361] XB3\_НВЧЗ АУ ПО 310 при вкл.В НВЧЗ.**

#### **5.2.13.3 [102303] XB1\_ВЧЗ Пуск ВЧ при выводе ВЧЗ**

Если на объекте длительные ВЧ сигналы допустимы, то при выводе из действия своего п/к НДЗ (возврат сигнала **[102035] ВЧЗ выведена инверсный**) целесообразно производить непрерывный (следящий) пуск сплошного ВЧ сигнала для оперативного ввода/вывода из действия удаленного п/к. Для этого необходимо выставить программную накладку **XB1\_ВЧЗ** в положение **2 - следящий.**

Если на объекте длительные ВЧ сигналы не допустимы программная накладка выставляется в положение **3 - импульсный.** В этом случае, при непрерывном воздействующем сигнале, блокирующий ВЧ сигнал пускается лишь на время 26 мс, и по истечении 25 мс в обоих п/к по концам линии происходит фиксация сигналов: **[103005] Длительный ВЧ сигнал** – для блокировки ВЧЗ и **[102013] Вызов** – для вызова оперативного персонала. Для сброса фиксации блокировки ВЧЗ потребуется нажатие кнопки «Съем сигнализации» оперативным персоналом. Если данный алгоритм взаимодействия с оперативным персоналом недопустим, то функция выводится из работы выставлением программной накладкой **XB1\_ВЧЗ** в положение **1 - не предусмотрен.**

#### **5.2.13.4 [103402] XB2\_ДФЗ ПО U2**

При нехватке чувствительности **[012008] ПО I2 (ДФЗ), отключающий** (п. 5.2.1.2) возникает необходимость ввода в работу **[015001] ПО U2 (ДФЗ), блокирующий** и **[015002] ПО U2 (ДФЗ), отключающий.** Для этого программная накладка **XB2\_ДФЗ** выставляется в положение **1 - в работе** и выбирается положения накладок отвечающие за логику работы защиты при НЦН (п. 5.2.13.1 и 5.2.13.8).

Работоспособность защиты в этом случае будет определяться чувствительностью ОМ (п. 5.2.9.3 и 5.2.9.4).

Программная накладка выставляется в одинаковое положение на обоих концах линии. При этом допускается, чтобы требования по чувствительности для каждого конца обеспечивались только для одного из органов: **[012008] ПО I2, отключающий** или **[103222] Уср ПО U2, отключающий.**

#### **5.2.13.5 [104359] XB2\_НВЧЗ Режим совместимости с ПДЭ-2003**

Если на удаленном конце линии установлена полупроводниковая панель ПДЭ-2003, то для компенсации разницы времен возврата блокирующего РНМОП в логике рекомендуется выставлять программную накладку **XB9\_НВЧЗ** в положение **1 - предусмотрен.**

#### **5.2.13.6 [102304] XB2\_ВЧЗ Действие при неиспр.цепей напряж.**

Для приемопередатчиков с функцией передачи команд рекомендуется выставлять **XB2\_ВЧЗ** в положение **4 - перевод в режим ДФЗ.** При этом к входным и выходным цепям команд приемопередатчика должны быть подсоединены цепи с адресами 25-27 и 30-31. При возникновении сигнала **[050001] НЦН** в одном из полуккомплектов,

основная защита в нем принудительно переводится в режим ДФЗ и параллельно формируется сигнал **[102031] Пуск ТК\_НЦН**, производящий данную операцию в удаленном п/к посредством импульсной телекоманды. В обоих п/к будет формироваться сигнал **[104007] Блок. НВЧЗ**, по умолчанию назначенный на одноименный светодиод. В этом режиме цепи пуска ОСФ и цепи разрешения ОМ контролируются токовыми ПО ДФЗ аналогично логике в шкафу ДФЗ. При перезапуске питания терминала производится повторный обмен телекомандами. При исчезновении неисправности в цепях напряжения основная защита возвращается в режим НВЧЗ в своем п/к и одновременно посылает сигнал **[102032] Пуск ТК\_сброса\_НЦН** для возврата в режим НВЧЗ удаленного п/к.

Если приемопередатчик не имеет функции передачи команд, то для объектов, где длительные ВЧ сигналы разрешены, накладка **XB2\_ВЧЗ** выставляется в положение **2 - пуск ВЧ следящий**. В этом случае приемопередатчик будет пускать сплошной блокирующий ВЧ сигнал непрерывно пока присутствует **[050001] НЦН**. Если длительные ВЧ сигналы не разрешены, то программная накладка выставляется в положение **3 - пуск ВЧ импульсный**. В этом случае, при непрерывном воздействующем сигнале, блокирующий ВЧ сигнал пускается лишь на время 26 мс, и по истечении 25 мс в обоих п/к по концам линии происходит фиксация сигналов: **[103005] Длительный ВЧ сигнал** – для блокировки ВЧЗ и **[102013] Вызов** – для вызова оперативного персонала. Для сброса фиксации блокировки ВЧЗ потребуется нажатие кнопки «Съем сигнализации» оперативным персоналом. Если данный алгоритм взаимодействия с оперативным персоналом недопустим, то функция выводится из работы выставлением программной наклейки **XB2\_ВЧЗ** в положение **1 - не предусмотрен**.

#### 5.2.13.7 **[104361] XB3\_НВЧЗ АУ ПО 3Iот.В НВЧЗ, [104362] XB4\_НВЧЗ АУ ПО I2от НВЧЗ при недовключении фазы В**

Так как **[011003] ИО М2 (НВЧЗ), отключающий** может отказать при включение линии на КЗ с недовключением фазы, в защите предусмотрена логика отключения трех фаз от **[012010] ПО 3I0 при вкл.В** с блокировкой от **[011006] ПО БТНТ** и **[012082] ПО I2 (НВЧЗ), отключающий** с блокировкой от **[012001] ПО тока выключателей ф.А, [012002] ПО тока выключателей ф.В, [012003] ПО тока выключателей ф.С**, объединенных по схеме «И». Для этого программные наклейки **XB3\_НВЧЗ** и **XB4\_НВЧЗ** выставляются в положение **1 - предусмотрено**.

Если отключение КЗ при ТАПВ и ОЛ обеспечивается другими защитами, то рекомендуется выставлять программные наклейки **XB3\_НВЧЗ** и **XB4\_НВЧЗ** в положение **0 - не предусмотрено**.

#### 5.2.13.8 **[103403] XB3\_ДФЗ Пуск ВЧ при выводе защиты**

Если на объекте длительные ВЧ сигналы допустимы, то при выводе из действия своего п/к ДФЗ (возврат сигнала **[102035] ВЧЗ выведена инверсный**) целесообразно производить пуск сплошного ВЧ сигнала для вывода из действия удаленного п/к. Для этого необходимо выставить программную накладку **XB3\_ДФЗ** в положение **1 - предусмотрен**.

Если на объекте длительные ВЧ сигналы не допустимы программная накладка выставляется в положение **0 - не предусмотрен**. При этом если программная накладка **[103401] XB1\_ДФЗ Вывод ДФЗ при НЦН** выставлена в положение **1 - предусмотрен** необходимо произвести расчет предельно допустимой длины линии при односторонне выведенной КЕТ [7] согласно формуле:

$$L_{л \text{ пред ОВКЕТ}} = 2 \cdot L_{л \text{ пред О(Д)ВКЕТ}} = \frac{6 \cdot (I_{2 \text{ от уст}} - k_{\text{зап}} \cdot I_{2 \text{ бл уст удал}})}{b_{1 \text{ уст}} \cdot U_{\phi \text{ ном}}}, \quad (155)$$

где  $L_{л\text{ пред } O(D)BKET}$  – предельная длина линии при односторонне (двусторонне) выведенной КЕТ, согласно [7];  
 $k_{зап}$  – коэффициент запаса, принимается равным 1,5;  
 $I_{2\text{ бл уст удал}}$  – уставка п/к удаленного конца линии, рассчитываемая по формуле (28):

**[103203] Иср ПО I2, блокирующий из состава [103901] ДФЗ;**

$b_{1\text{ уст}}$  – уставка **[050342] Удельная проводимость линии по ПП ( $b_1 \cdot 10^{-6}$ )**;

$U_{ф\text{ ном}}$  – номинальное фазное напряжение линии в первичных величинах.

Если расчетное значение получится  $L_{л\text{ пред } O(D)BKET} < L_{л\text{ уст}}$ , где  $L_{л\text{ уст}}$  – уставка **[050341] Длина линии (Lл)**, то необходимо применить дополнительные проектные решения по передаче импульсной (т.к. длительный сигнал недопустим) телекоманды на удаленный конец линии для вывода удаленного п/к ДФЗ.

#### **5.2.13.9 [103404] XB4\_ДФЗ Сигнализация пуска на отключение**

Программная накладка служит для блокировки формирования сигнала **[102010] Пуск защиты**, который может быть использован для сигнализации.

## Приложение 1. Схемы логические функциональные блоков ВЧЗ

Функционально-логические схемы приведены для ознакомления с алгоритмическим расположением ПО/ИО, выдержек времени, программных накладок, и могут отличаться от функционально-логических схем поставочных версий программного обеспечения терминалов.

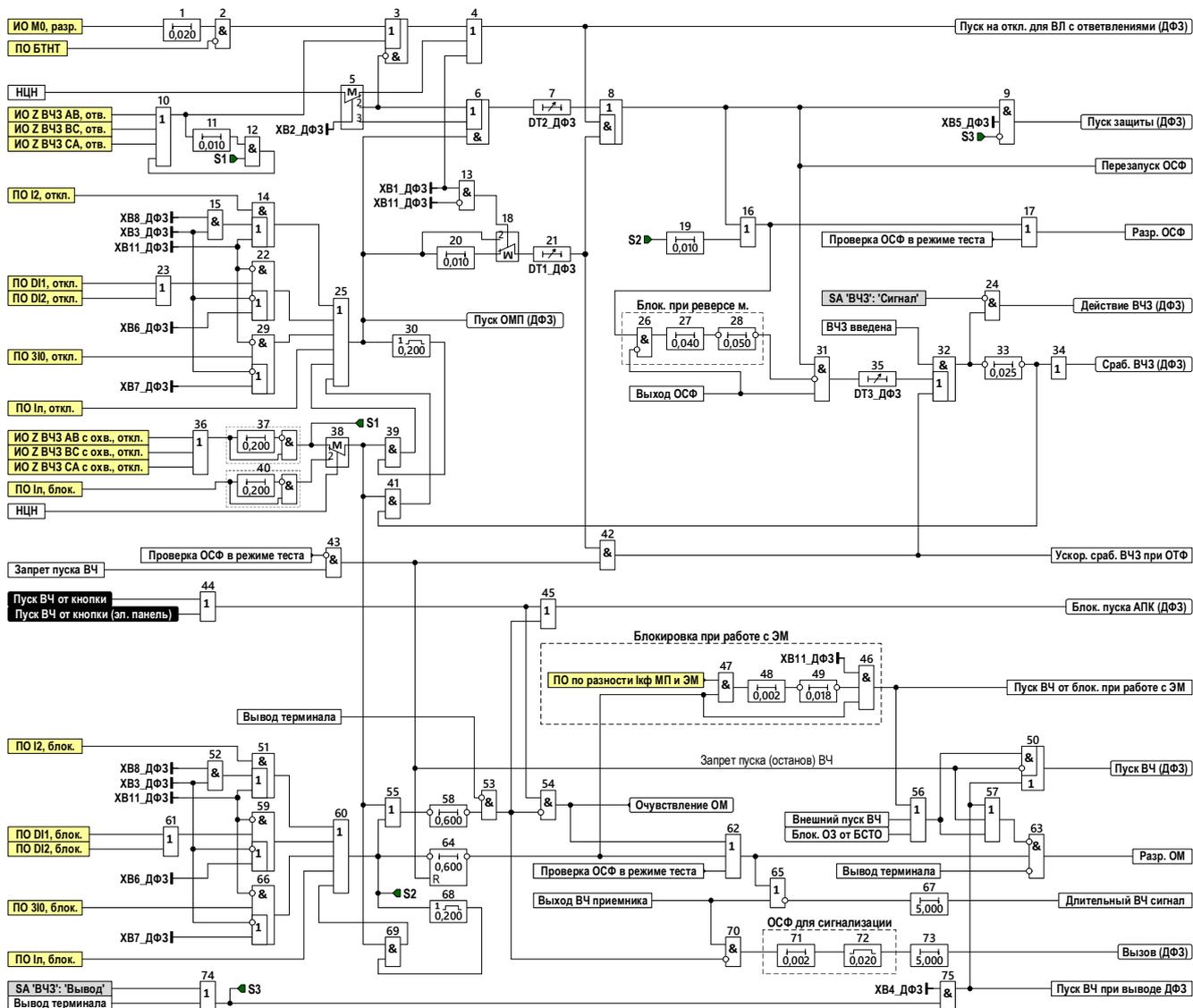


Рис. 43 – Функционально-логическая схема блока ДФЗ 110-220 кВ

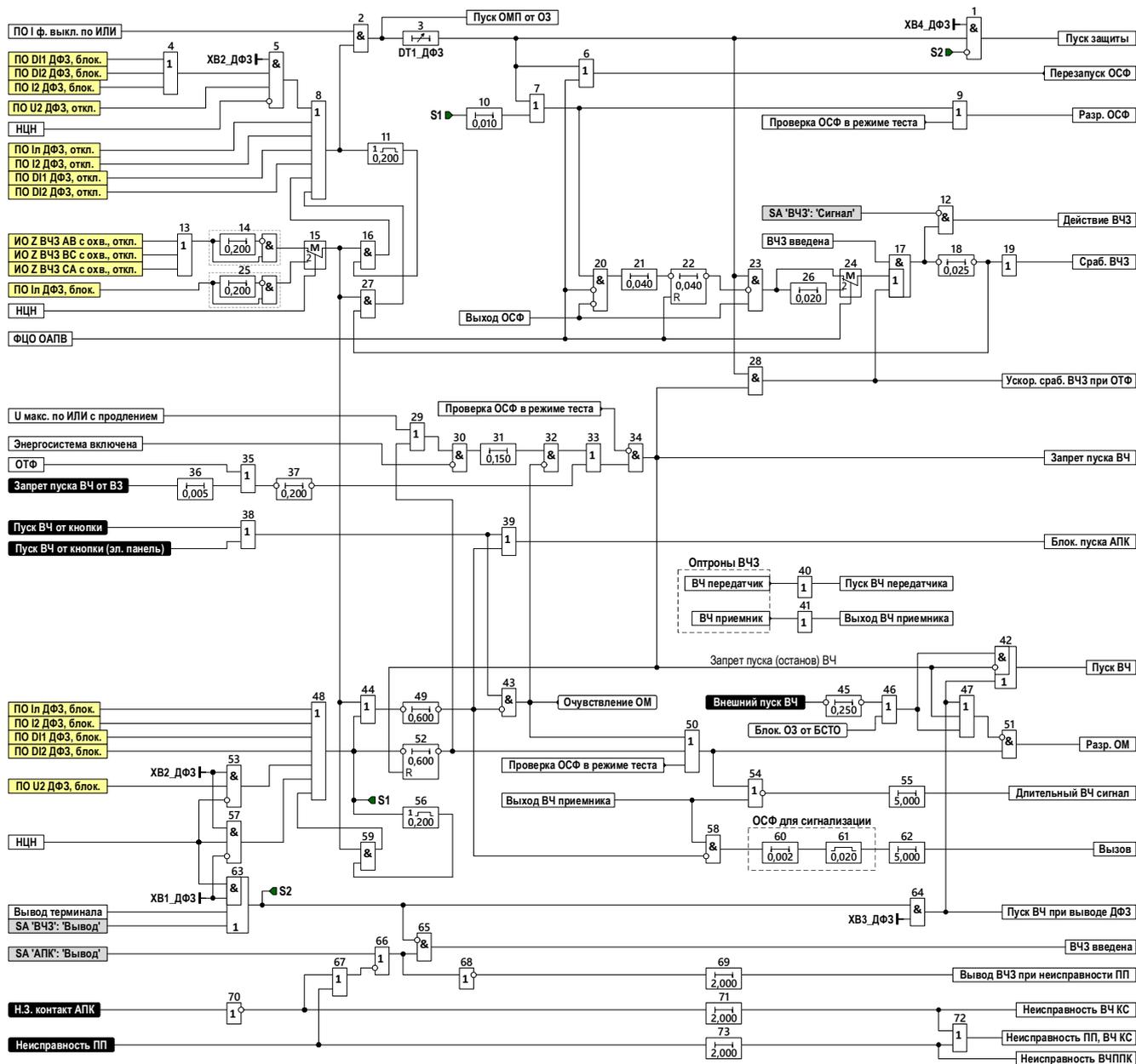


Рис. 44 – Функционально-логическая схема блока ДФЗ 330-750 кВ

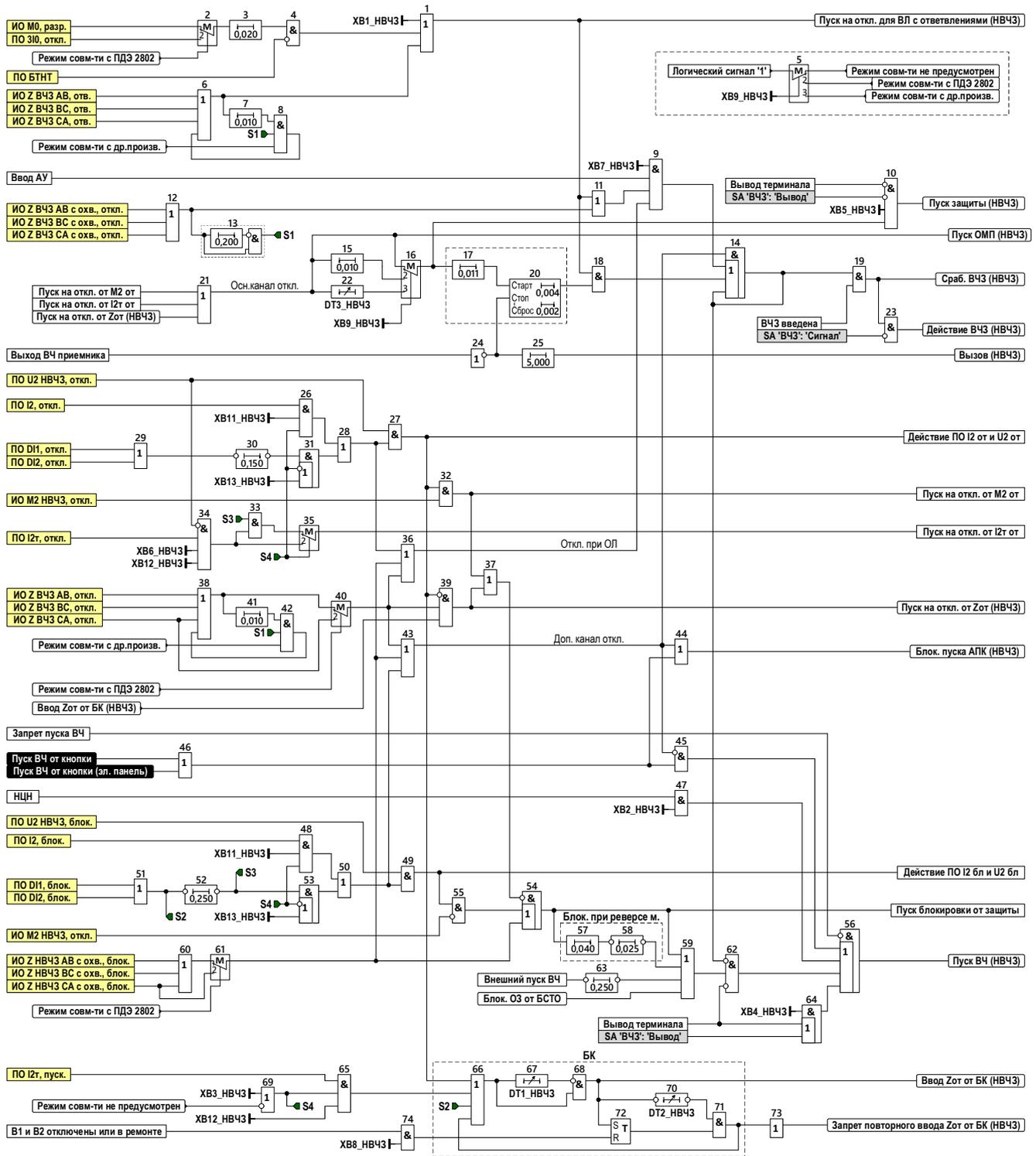


Рис. 45 – Функционально-логическая схема блока HV43 110-220 кВ

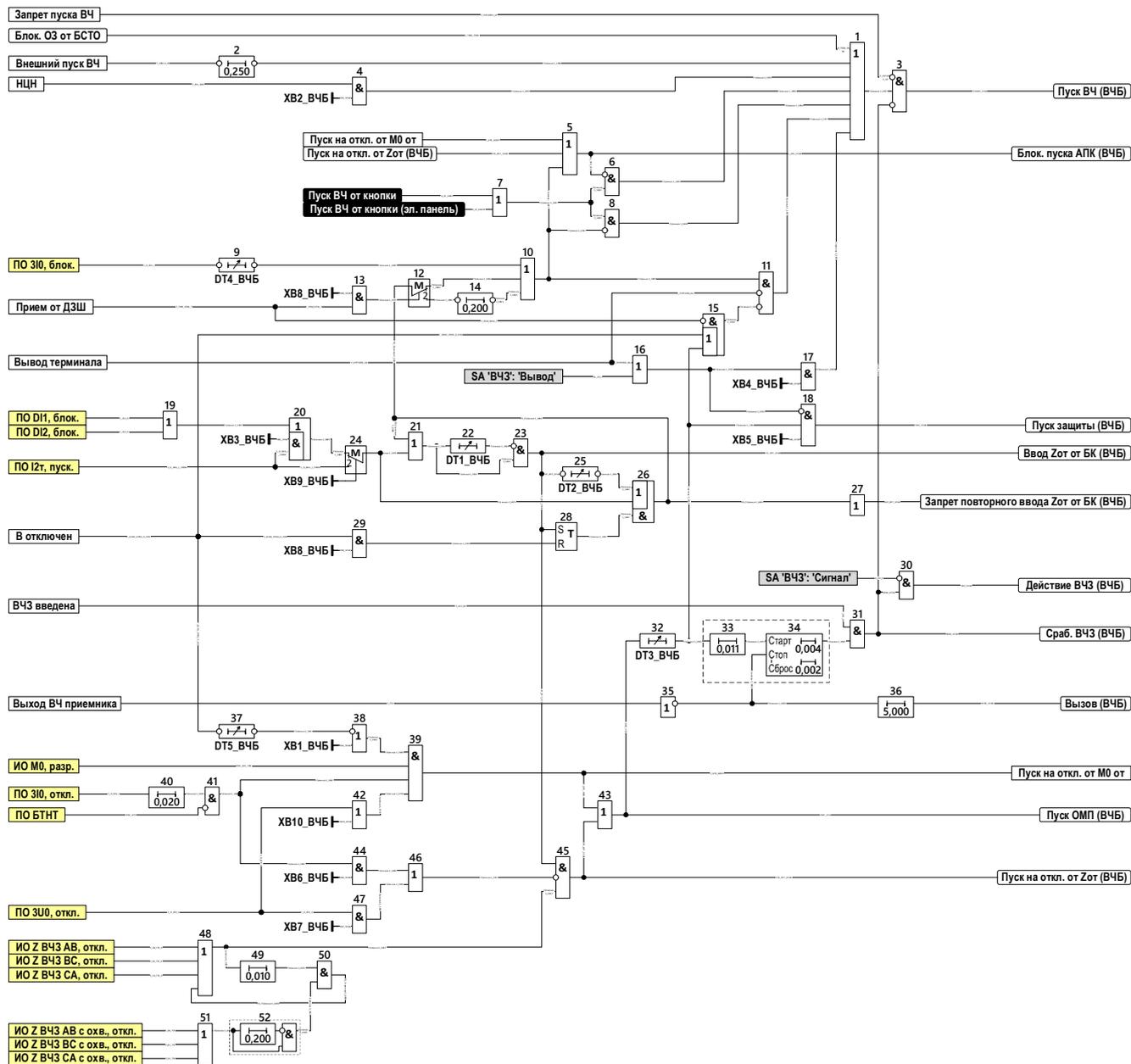


Рис. 46 – Функционально-логическая схема блока ВЧБ 110-220 кВ

## Список литературы

- 1 Шкаф направленной и дифференциально-фазной защиты линии типа ШЭ2710 538. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.534 РЭ.
- 2 Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110-220 кВ. – М.: Энергия, 1972.
- 3 Левиуш А.И., Дони Н.А., Надель Л.А., Наумов А.М. Высокочастотная направленная и дифференциально-фазная защита ПДЭ2003 для ВЛ 500-750 кВ (релейная часть). – М.: Научно-учебный центр ЭНАС, 1996.
- 4 Дони Н.А., Шнеерсон Э.М. Области действия сложных фильтровых измерительных органов релейной защиты. – Электрические станции, № 8, 1977.
- 5 Дони Н.А., Дони К.Н. Частотные свойства цифровых фильтров симметричных составляющих. – Электричество, № 5, 2003.
- 6 Левиуш А.И., Микуцкий Г.В., Сапир Е.Д. Уменьшение влияния помех от короны на работу высокочастотного канала дифференциально-фазной защиты. – Электричество, № 11, 1972.
- 7 Дони Н.А., Левиуш А.И., Тонких Е.В., Ужegov В.Т. О предельных длинах ВЛ, защищаемых дифференциально-фазными защитами без устройств компенсации емкостных токов. – Электрические станции, № 2, 2003.
- 8 Патент РФ № 32328, МКИ 7Н02Н3/28. Микропроцессорный терминал дифференциально-фазной защиты линии электропередачи / Дони Н.А., Дони А.Н., Дони К.Н., Левиуш А. И. Оpub. В Б.И. 2003, №25 (приоритет от 29.04.2003)
- 9 Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1992.
- 10 Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений/ Н.Н. Беляков, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштейн и др.; Под ред. М.Л. Левинштейна. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
- 11 Александров Г.Н., Ершевич В.В, Крылов С.В. и др. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983.
- 12 Дони Н.А., Гарке В.Г., Иванов И.Ю., Ужegov В.Т. Повышение технического совершенства дифференциальной защиты линий электропередачи напряжением 110-220 кВ. – Релейная защита, № 4, 2012.
- 13 Дони Н.А., Галеев Э.Г., Лопухов В.М. Модернизация микропроцессорных ДФЗ ВЛ 110-220 кВ. – Релейная защита, № 4, 2012.
- 14 Циркуляр Ц-04-94(Э). О предотвращении излишних действий защит ДФЗ линий 110-500 кВ при внешних КЗ: утвержден и введен в действие Приказом Российского акционерного общества энергетики и электрификации «ЕЭС России» от 30 декабря 1994 г.
- 15 Распоряжение ДП ЦСЗ №564. О предотвращении отказа ДФЗ в тупиковом режиме при однофазном КЗ: распоряжение открытого акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго» от 25 декабря 2001 г.
- 16 ГОСТ Р 70593-2022. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. ДФЗ линий электропередачи классом напряжения 110-220 кВ. Испытания: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2022 г. № 1598-ст: дата введения 2023-02-01.

17 ГОСТ Р 70590-2022. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. ДФЗ линий электропередачи классом напряжения 330 кВ и выше. Испытания: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2022 г. № 1595-ст: дата введения 2023-02-01.