

**Функция однофазного автоматического повторного включения линии  
напряжением 330 - 750 кВ**

Рекомендации по выбору уставок

ЭКРА.650323.114 Д7  
(редакция от 09.02.2023)

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

## Содержание

1 Область применения.....	4
2 Термины и определения.....	5
3 Сокращения.....	6
4 Общие положения.....	8
5 Однофазное автоматическое повторное включение .....	9
5.1 Описание функции «Однофазное автоматическое повторное включение» .....	9
5.1.1 Общие сведения .....	9
5.1.2 Избиратели поврежденных фаз (ИПФ) .....	10
5.1.4 Орган определяющий вид повреждения (ООВП) .....	13
5.1.5 Орган контроля погасания дуги и выявления успешности включения (ОКПДУВ) .....	14
5.1.6 Времена включения отключенной в цикле ОАПВ фазы .....	18
5.2 Расчет и выбор параметров настройки (уставок) и алгоритмов функционирования функции «Однофазное автоматическое повторное включение» .....	23
5.2.1 Выбор уставок дистанционных избирателей поврежденных фаз (ЗИПФ) .....	23
5.2.2 Выбор уставок дифференциальных избирателей поврежденных фаз .....	27
5.2.3 Выбор уставок органа, определяющего вид повреждения (ООВП).....	28
5.2.4 Выбор уставки [152321] Иср ПО I2 контроля пуска ОАПВ.....	30
5.2.5 Выбор уставок органа контроля погасания дуги и выявления успешности включения (ОКПДУВ) .....	30
5.2.6 Выбор уставок по времени.....	32
5.2.7 Выбор уставок по времени в шкафу ШЭТ АУВ.....	39
5.2.8 Назначение программных накладок ХВ .....	40
5.2.9 Назначение программных накладок ХВ в шкафу ШЭТ АУВ .....	45
5.3 Пример расчета уставок РП и ОКПД реактированной ЛЭП 500 кВ .....	46
5.4 Приложение А. Рекомендуемые схемы подключения комплектов ОАПВ своего конца линии .....	49
Список литературы .....	52
Лист регистрации изменений .....	53

## 1 Область применения

Настоящие рекомендации по выбору уставок могут применяться для устройств ООО НПП «ЭКРА» серии ШЭ2710 и ШЭТ основных и резервных защит линии напряжением 330 кВ и выше в состав которых входит функция однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) линии либо отдельные узлы функции.

Функция ОАПВ в максимальном составе содержит в себе следующие узлы:

- избиратели поврежденных фаз (ИПФ):
  - а) дистанционные избиратели поврежденных фаз (ЗИПФ);
  - б)<sup>1</sup> дифференциальные избиратели поврежденных фаз (ДИПФ);
- орган определяющий вид повреждения (ООВП);
- орган контроля пуска ОАПВ;
- токовую защиту неотключенных фаз (ТЗНФ);
- орган контроля погасания дуги и выявления успешности включения (ОКПДУВ);
- расчетная пауза ОАПВ.

---

<sup>1</sup> Только в составе шкафа ДЗЛ.

## 2 Термины и определения

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

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

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

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

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

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

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

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

**Уставки** – задаваемые параметры срабатывания органов устройств РЗА.

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

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

### 3 Сокращения

ЗИПФ	дистанционные избиратели поврежденных фаз
АКР	автоматика компенсационного реактора
АПВ	автоматическое повторное включение
АПН(АОПН)	автоматика (ограничения) повышения напряжения
АУ	автоматическое ускорение
АУВ	автоматика управления выключателем
БСТО	блокировка при сквозных токах через ошиновку
В	выключатель
В1(В2,В3)	выключатель 1(2,3)
ВЗ	внешняя защита (своего конца линии)
ВЛ	воздушная линия (электропередачи)
ДЗ	дистанционная защита
ДЗЛ	дифференциальная защита линии (продольная)
ДИПФ	дифференциальные избиратели поврежденных фаз
ЗНР(ЗНФР)	защита от неполнофазного режима
ЗНФ	защита от непереключения фаз
ИО	измерительный орган (анализируется две и более величины)
ИПФ	избиратель поврежденных фаз
КЗ	короткое замыкание
КР	компенсационный (нулевой) реактор
КС	канал связи
КС1(КС2)	канал связи 1(2)
КСЗ	комплект ступенчатых защит (линии)
ЛЭП	линия электропередачи
МТЗ(МТЗА)	максимальная токовая защита (аварийная)
НП	нулевая последовательность (симметричные составляющие)
ОАПВ	однофазное автоматическое повторное включение
ОВУВ	орган выявления успешности включения
ОКПД	орган контроля погасания дуги
ОКПДУВ	орган контроля погасания дуги и выявления успешности включения
ОЛ	опробование линии напряжением
ООВП	орган определения вида повреждения
ОП	обратная последовательность (симметричные составляющие)
ОТФ	отключение трех фаз
ПО	пусковой орган / программное обеспечение
ПП	приемопередатчик / прямая последовательность (симметричные составляющие)
РП	расчетная пауза (ОАПВ)
РПО	реле положения отключено
РС	реле сопротивления
ТАПВ	трехфазное автоматическое повторное включение
ТЗ	токовая защита
ТЗНФ	токовая защита неотключенных фаз
ТК	телекоманда (ВЧС)
ТН	трансформатор напряжения (измерительный)
ТТ	трансформатор тока (измерительный)
УПАСК	устройство передачи аварийных сигналов и команд
УРОВ	устройство резервирования отказа выключателя
УТАПВ	ускоренное ТАПВ
УШР	управляемый шунтирующий реактор
ФКВ	фиксация команды включения
ФКО	фиксация команды отключения
ФП	фиксация пуска ОАПВ
ФЦО	фиксация цикла отключения от схемы ОАПВ

ШР	шунтирующий реактор
ЭДС	электродвижущая сила
ЭМО	электромагнит отключения

#### 4 Общие положения

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

##### [050001] Неисправность цепей напряжения,

где [050001] – идентификационный шестизначный код дискретного сигнала или пункта меню;

**Неисправность цепей напряжения** – 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;

Значения многопозиционных<sup>2</sup> программных накладок устройства обозначены в следующем виде:

##### 1 - не предусмотрена, 2 - II ступень, 3 - III ступень,

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 предусмотрена** – наименование положения 1 накладки;

**II ступень** – наименование положения 2 накладки;

**III ступень** – наименование положения 3 накладки;

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 симметричным составляющим от небаланса ( $k_{отс}$ )	1,2
Коэффициент чувствительности ИО сопротивления к замерам сопротивления коротких замыканий ( $k_q$ )	1,2
Коэффициент отстройки ИО сопротивления от отстроечных замеров сопротивления ( $k_{отс} = \frac{1}{k_q}$ )	0,83

<sup>2</sup> 3 и более положения с отсчетом от 1.

## 5 Однофазное автоматическое повторное включение

### 5.1 Описание функции «Однофазное автоматическое повторное включение»

#### 5.1.1 Общие сведения

Автоматика управления выключателем на ВЛ 330 кВ и выше включает в себя устройства однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) и трехфазного автоматического повторного включения (ТАПВ). Наиболее распространенным проектным решением является схема с установкой на распределительное устройство трех комплектов ОАПВ с подводом тока с обоих выключателей защищаемой линии (один в составе основной защиты и два в составе резервных) и два устройства ТАПВ отдельно для каждого выключателя. Причем в ПО терминалов версии 4xx и выше функция включения по расчетной паузе ОАПВ может быть перенесена в устройства ТАПВ.

Все комплекты ОАПВ, установленные на защищаемую линию являются полностью независимыми<sup>3</sup>, но взаимодействуют между собой, с устройствами ТАПВ и комплектами ОАПВ удаленного конца линии.

Последовательность действия устройства ОАПВ включает в себя:

1. Мониторинг состояния своего и других комплектов ОАПВ своего конца линии:
  - пуск ОАПВ себя и других комплектов своего конца;
  - пуск ОАПВ только других комплектов своего конца при выводе себя;
  - перевод на ОТФ себя при выводе/неисправности всех трех комплектов своего конца;
2. Определение вида повреждения и выбор поврежденной фазы:
  - отключение поврежденной фазы от своих избирателей поврежденной фазы (ИПФ) и/или ИПФ другого<sup>4</sup> комплекта своего конца линии при определении вида повреждения как однофазного;
  - отключение трех фаз от своего ИПФ и/или ИПФ другого комплекта своего конца при неопределении вида повреждения как однофазного;
3. Мониторинг состояния не отключенных фаз в цикле ОАПВ:
  - отключение трех фаз при повторном или длительном действии БЗЛ, а также при срабатывании ТЗНФ и срабатывании ИПФ не отключенных фаз;
  - отключение трех фаз при отказе ИПФ;
4. Включение отключенной фазы:
  - отключение трех фаз от ОКПД при неопределении факта погасания дуги;
  - включение отключенной фазы первого по очереди конца линии от ОКПД или через выдержку времени расчетной паузы;
  - отключение трех фаз в случае неуспешного включения первого конца линии;
  - включение второго конца линии от ОВУВ в случае успешного включения первого конца;

<sup>3</sup> При потере связи с другими комплектами сохраняется полная работоспособность своего комплекта.

<sup>4</sup> Прием пофазных сигналов отключения с других комплектов ОАПВ.

## 5.1.2 Избиратели поврежденных фаз (ИПФ)

### 5.1.2.1 Дистанционные избиратели поврежденных фаз (ЗИПФ)

Для применения в схеме ОАПВ предусмотрены три пары фазных ИО: [010043] ИО Z ипф ф.А и [010046] ИО Z ипфк ф.А, [010044] ИО Z ипф ф.В и [010047] ИО Z ипфк ф.В, [010045] ИО Z ипф ф.С и [010048] ИО Z ипфк ф.С, подключённые к фазным напряжениям и фазным токам, компенсированным токами НП «своей» и параллельной линии (при наличии). Каждая пара объединяется в логике по схеме «ИЛИ» и при выполнении обязательного условия перекрытия характеристик срабатывания может быть представлена в виде ИО с суммарной характеристикой срабатывания, изображенной на рисунке 1.

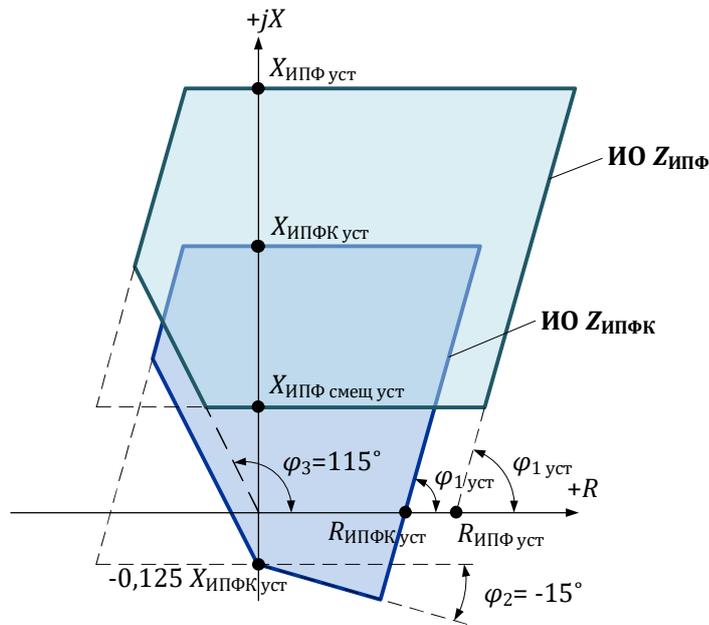


Рис. 1 – Характеристики срабатывания избирателей поврежденных фаз

Основное назначение указанных органов - выбор повреждённой фазы. ЗИПФ могут быть введены в работу на весь цикл ОАПВ, если на ВЛ отсутствуют качания, или выведены из работы по истечении определенного промежутка времени после пуска ОАПВ, реализованного на выдержке времени [152335] DT2\_ОАПВ Ввод ИПФ на заданное время, если на ВЛ возможны качания.

Реактивное и активное сопротивление в схеме замещения прямой последовательности соответствующей петли замыкания на землю  $R$  и  $X = \omega \cdot L$  рассчитывается на основе решения дифференциального уравнения ВЛ:

$$u_{\phi} = L \left( \frac{di_{\phi}}{dt} + k_{ум уст} \left( k_X \frac{d3i_0}{dt} + k_{XM} \frac{d3i_{0//}}{dt} \right) \right) + R \left( i_{\phi} + k_{ум уст} (k_R 3i_0 + k_{RM} d3i_{0//}) \right), \quad (1)$$

где  $u_{\phi}$  – мгновенное значение фазного напряжения линии на входе «U AN» [001011] Ua («U BN» [001012] Ub, «U CN» [001013] Uc) устройства;

$i_{\phi}$  – мгновенное значение фазного тока линии, вычисленное из токов выключателей и реактора либо взятый непосредственно со входа «I AN (РЛ)» [001007] Ia Л («I BN (РЛ)» [001008] Ib Л, «I CN (РЛ)» [001009] Ic Л) устройства;

$3i_0$  – мгновенное значение фазного тока НП линии;

$3i_{0//}$  – мгновенное значение фазного тока НП параллельной линии на входе «3I0 //» [001010] 3I0// устройства;

$k_R$  – коэффициент компенсации тока НП по активной составляющей сопротивления, который рассчитывается<sup>5</sup> по формуле:

$$k_R = kk_{R\text{уст}} \frac{r_0 - r_1}{3r_1}, \quad (2)$$

$k_X$  – коэффициент компенсации тока НП по реактивной составляющей сопротивления, который рассчитывается по формуле:

$$k_X = kk_{X\text{уст}} \frac{x_0 - x_1}{3x_1}, \quad (3)$$

$k_{RM}$  – коэффициент компенсации тока НП параллельной линии по активной составляющей сопротивления, который рассчитывается по формуле:

$$k_{RM} = \frac{r_{0M}}{3r_1}, \quad (4)$$

$k_{XM}$  – коэффициент компенсации тока НП параллельной линии по реактивной составляющей сопротивления, который рассчитывается по формуле:

$$k_{XM} = \frac{x_{0M}}{3r_1}, \quad (5)$$

$kk_{R\text{уст}}$  – уставка [050363] Коррект. множитель  $kk_R$  коэф. компенсации тока 3I0 по R;

$kk_{X\text{уст}}$  – уставка [050364] Коррект. множитель  $kk_X$  коэф. компенсации тока 3I0 по X;

$k_{\text{умуст}}$  – уставка [152306] кум ИО Z ипфк по коэффициенту уменьшения степени компенсации токов НП;

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

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

$r_{0\text{уст}}$  – уставка [050346] Удельное активное сопротивление линии по НП (r0);

$x_{0\text{уст}}$  – уставка [050347] Удельное реактивное сопротивление линии по НП (x0);

$r_{0M\text{уст}}$  – уставка [050348] Удельное активн.сопрот.взаимоинд.линии с //ВЛ по НП (r0M);

$x_{0M\text{уст}}$  – уставка [050349] Удельное реактивн.сопрот.взаимоинд.линии с //ВЛ по НП (x0M).

Для ИО  $Z_{\text{ИПФ}}$  коэффициент  $k_{\text{умуст}}$  не применяется и в формулах (1) и (6) может быть принят равным 1.

Для ИО  $Z_{\text{ИПФК}}$  коэффициент  $k_{\text{умуст}}$  регулируется в диапазоне (0.00 - 1.00).

Компенсация влияния тока НП параллельной линии для ИО  $Z_{\text{ИПФ}}$  и для ИО  $Z_{\text{ИПФК}}$  автоматически отключается, когда измеренный устройством ток  $3I_{0//}$  превышает 133.3 % от тока НП защищаемой линии  $3I_0$ .

В установившемся режиме при частоте сигналов, равной номинальной, взаимосвязь между векторными значениями фазного напряжения  $\dot{U}_\phi$  и токов  $\dot{I}_\phi$ ,  $3\dot{I}_0$  и  $3\dot{I}_{0//}$  определяется выражением:

$$\dot{U}_\phi = R \left( \dot{I}_\phi + k_{\text{умуст}} (k_R 3\dot{I}_0 + k_{RM} 3\dot{I}_{0//}) \right) + jX \left( \dot{I}_\phi + k_{\text{умуст}} (k_X 3\dot{I}_0 + k_{XM} 3\dot{I}_{0//}) \right) \quad (6)$$

<sup>5</sup> Рассчитанные терминалом величины коэффициентов  $k_R$ ,  $k_X$ ,  $k_{RM}$ ,  $k_{XM}$  доступны для чтения в пункте меню [001915] Константы.

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

$$\begin{cases} \dot{U}_\phi = a + jb \\ \dot{I}_R = \dot{I}_\phi + k_{\text{ум уст}} (k_R 3I_0 + k_{RM} 3\dot{I}_{0//}) = c + jd, \\ \dot{I}_X = \dot{I}_\phi + k_{\text{ум уст}} (k_X 3I_0 + k_{XM} 3\dot{I}_{0//}) = e + jf \end{cases} \quad (7)$$

Тогда выражение 6 примет вид системы из двух уравнений для активной и реактивной составляющих:

$$\begin{cases} R = \frac{ae + bf}{ce + df} \\ X = \frac{bc - ad}{ce + df} \end{cases} \quad (8)$$

Срабатывание [010043] ИО Z ипф ф.А, [010044] ИО Z ипф ф.В, [010045] ИО Z ипф ф.С происходит при выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} |X| \leq X_{\text{ИПФ уст}} \\ \left| R - \frac{X}{\tan \varphi_{1 \text{ уст}}} \right| \leq R_{\text{ИПФ уст}} \\ X \geq X_{\text{ИПФ смещ уст}} \\ \frac{X}{\tan \varphi_3} - R \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

Срабатывание [010046] ИО Z ипфк ф.А, [010047] ИО Z ипфк ф.В, [010048] ИО Z ипфк ф.С происходит при выполнении следующих условий<sup>6</sup>:

$$\begin{cases} |X| \leq X_{\text{ИПФК уст}} \\ \left| R - \frac{X}{\tan \varphi_{1 \text{ уст}}} \right| \leq R_{\text{ИПФК уст}} \\ \frac{X + 0,125 \cdot X_{\text{ИПФК уст}}}{\tan \varphi_3} - R \leq 0 \\ 0,125 \cdot X_{\text{ИПФК уст}} - R \cdot \tan \varphi_2 \geq 0 \end{cases} \quad (10)$$

где  $R$  и  $X$  – вычисленные при решении дифференциального уравнения (1) активная и реактивная составляющие сопротивления на входе устройства;

$R_{\text{ИПФ уст}}$  – уставка [152303] Руств ИО Z ипф;

$X_{\text{ИПФ уст}}$  – уставка [152301] Хуств ИО Z ипф;

$X_{\text{ИПФ смещ уст}}$  – уставка [152302] Хуств смещения ИО Z ипф;

$R_{\text{ИПФК уст}}$  – уставка [152305] Руств ИО Z ипфк;

$X_{\text{ИПФК уст}}$  – уставка [152304] Хуств ИО Z ипфк;

$\varphi_{1 \text{ уст}}$  – уставка [152307] Наклон характеристик ИО Z ипф и Z ипфк;

$\varphi_2$  – угол наклона характеристик ИО Z<sub>ИПФК</sub> в IV квадранте, равный -15°;

$\varphi_3$  – угол наклона характеристик ИО Z<sub>ИПФ</sub> и ИО Z<sub>ИПФК</sub> во II квадранте, равный 115°.

<sup>6</sup> Углы  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$  существуют на плоскости сопротивлений, что соответствует режиму самополяризации.  
ЭКРА.650323.091 Д7

### 5.1.2.2 Дифференциальные избиратели поврежденных фаз (ДИПФ)

Данный тип избирателей реализован только в программном обеспечении содержащим функцию [101901] ДЗЛ. В качестве ПО используются три пары фазных органов ДЗЛ: [016011] ПО ДЗЛ ф.А (КС1) и [016021] ПО ДЗЛ ф.А (КС2), [016012] ПО ДЗЛ ф.В (КС1) и [016022] ПО ДЗЛ ф.В (КС2), [016013] ПО ДЗЛ ф.С (КС1) и [016023] ПО ДЗЛ ф.С (КС2), и три пары фазных органов ДТО: [016014] ПО ДТО ф.А (КС1) и [016024] ПО ДТО ф.А (КС2), [016015] ПО ДТО ф.В (КС1) и [016025] ПО ДТО ф.В (КС2), [016016] ПО ДТО ф.С (КС1) и [016026] ПО ДТО ф.С (КС2). Каждая пара объединяется в логике по схеме «ИЛИ». Далее выходные сигналы объединенных органов соответствующих фаз ДЗЛ (КС1, КС2) и ДТО (КС1, КС2) снова объединяются между собой по схеме «ИЛИ» и формируют сигналы ДИПФ.

Описание и рекомендации по расчету уставок приведено в рекомендациях по выбору уставок ЭКРА.650323.037 Д7 «Функция продольной дифференциальной защиты линии электропередачи».

### 5.1.2.3 Избиратели поврежденных фаз по напряжению для конца со слабым питанием (УИПФ)

В качестве избирателей поврежденных фаз на конце линии со слабым питанием используются логические узлы контролирующие снижение фазного напряжения и отсутствие срабатывания ИПФ на другом принципе, а также отсутствие приема пофазных сигналов отключения от соседних комплектов на программируемых входах [152725] Прием сигнала 'Отключение фазы А от ВЗ', [152726] Прием сигнала 'Отключение фазы В от ВЗ', [152727] Прием сигнала 'Отключение фазы С от ВЗ'. Снижение фазных напряжений контролируется возвратом [015042] ПО U макс. ф.А, [015043] ПО U макс. ф.В, [015044] ПО U макс. ф.С с нерегулируемым порогом срабатывания, равным 0,85 от номинального фазного напряжения линии.

### 5.1.3 Орган определяющий вид повреждения (ООВП)

Орган предназначен для определения вида повреждения как однофазного КЗ на землю.

Орган состоит из [015014] ПО ЗУ0 ООВП, [012039] ПО З10 ООВП с торможением и [012040] ПО БТ ООВП, ограничивающего область действия ПО З10 ООВП. Для формирования сигнала [152042] РТННП-1 определяющего однофазные КЗ на землю ПО ЗУ0 ООВП и ПО З10 ООВП объединяются по схеме «ИЛИ» с запретом на выходе от ПО БТ ООВП, реагирующего на модуль среднего фазного тока.

[015014] ПО ЗУ0 ООВП имеет во вторичных величинах масштаб линейных величин, не зависимо от положения программной накладки [050273] Напряжение ЗУ0.

[012039] ПО З10 ООВП реагирует на ток НП, который сравнивается с пороговой величиной  $3I_{0 \text{ порог}}$ , вычисляемой по формуле:

$$3I_{0 \text{ порог}} = \max(3I_{0 \text{ уст}}; k_{\text{Т уст}} \cdot (I_{\text{ф средн}} - I_{\text{НЛТ}}^* \cdot I_{\text{ном}})), \quad (11)$$

где  $3I_{0 \text{ уст}}$  – уставка [106272]  $I_{\text{ср}}$  ПО З10 ООВП по току НП;

$k_{\text{Т уст}}$  – уставка [106273] Коэффициент торможения ПО З10 ООВП;

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

$I_{\text{НЛТ}}^*$  – кратность тока начала луча участка торможения, которая равна 1,25 о.е;

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

[012040] ПО БТ ООВП реагирует на модуль среднего фазного тока.

Характеристика торможения ПО ЗЮ ООВП изображена на рисунке 2.

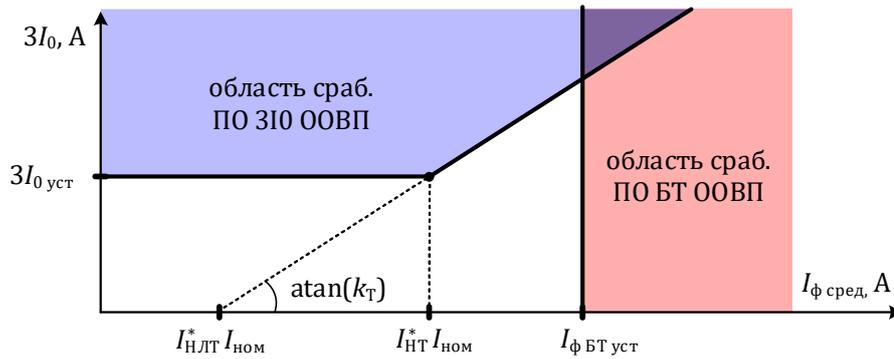


Рис. 2 – Характеристика торможения ПО ЗЮ ООВП, ограниченная<sup>7</sup> по оси  $I_{\phi \text{ средн}}$  областью срабатывания ПО БТ ООВП

Кратность тока начала участка торможения можно найти по формуле:

$$I_{\text{НТ}}^* = \frac{3I_{0 \text{ уст}}}{k_{\text{т уст}} I_{\text{ном}}} + I_{\text{НЛТ}}^* , \quad (12)$$

#### 5.1.4 Орган контроля погасания дуги и выявления успешности включения (ОКПДУВ)

##### 5.1.4.1 Орган контроля погасания дуги (ОКПД)

Орган предназначен для определения факта погасания дуги в отключенной в цикле ОАПВ фазе (ОФ) для дальнейшего ее включения либо отключения оставшихся фаз в случае устойчивого горения дуги.

Орган состоит из [015047] ПО Уоф ОКПД, грубый и [015049] ПО Унч ОКПД для линий с шунтирующими реакторами и [015048] ПО Уоф ОКПД, чувствительный, [012083] ПО ЗЮ ОКПД и [019001] ИО РСФ ОКПД для линий без шунтирующих реакторов. Выбор активного набора пусковых органов осуществляется программной накладкой [050365] Параметры линии / Реагирование линии / на одном или двух концах, отсутствует или на шинах. Если хотя бы на одном конце линии установлен шунтирующий реактор, то программная накладка должна быть выставлена в положение 0 - на одном или двух концах.

ПО Уоф ОКПД, грубый и ПО Уоф ОКПД, чувствительный реагируют на компенсированную по току  $3I_0$  («вынос ТН на линию») величину напряжения отключенной в цикле ОАПВ фазы:

$$U_{\text{ОФ к}} = \left| \dot{U}_{\text{ОФ}} - k_{\text{комп}} \cdot 3\dot{I}_0 \cdot \frac{Z_0 - Z_1}{3} \right| , \quad (13)$$

где  $\dot{U}_{\text{ОФ}}$  – вектор напряжения отключенной фазы;

$k_{\text{комп}}$  – коэффициент компенсации по току  $3I_0$  («вынос ТН на линию»), равный 0,5;

$3\dot{I}_0$  – вектор тока НП линии;

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

$$Z_1 = (r_{1 \text{ уст}} + jx_{1 \text{ уст}}) \cdot L_{\text{л уст}} \quad (14)$$

$Z_0$  – комплексное сопротивление линии по НП, рассчитываемое по формуле:

$$Z_0 = (r_{0 \text{ уст}} + jx_{0 \text{ уст}}) \cdot L_{\text{л уст}} \quad (15)$$

<sup>7</sup> Ограничение области срабатывания ПО ЗЮ РТНП происходит в логике ООВП и не влияет на сам ПО ЗЮ

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 ( $x1$ );  
 $r_{0\text{уст}}$  – уставка [050346] Удельное активное сопротивление линии по НП ( $r0$ );  
 $x_{0\text{уст}}$  – уставка [050347] Удельное реактивное сопротивление линии по НП ( $x0$ );  
 $L_{\text{луст}}$  – уставка [050341] Длина линии ( $Lл$ );

Второе слагаемое в формуле (13), умноженное на  $k_{\text{комп}}$  соответствует напряжению горения дуги на удаленном конце линии. Компенсация (вынос ТН на линию) по току  $3I_0$  уменьшает влияние наведенной от неотключенных фаз продольной ЭДС во время горения дуги на удаленном конце линии. Если параметры линии, заданные в устройстве подобраны верно, то при горении дуги в середине линии, в соответствии с коэффициентом компенсации  $k_{\text{комп}} = 0,5$ , компенсированное напряжение горения дуги  $U_{ГДк}$  стремится к нулю, а при горении в конце линии – стремится к половине реального напряжения горения дуги  $U_{ГД}$  (см рисунок 3). Компенсированное восстанавливающееся напряжение  $U_{вк}$  может быть как меньше, так и больше реального  $U_{в}$  в зависимости от угла передачи мощности на линии  $\delta_{л}$ , но итоговая разница между режимом горения дуги и восстановлением напряжения увеличивается, что позволяет устройству работать в более широком диапазоне углов  $\delta_{л}$  (см рисунок 4).

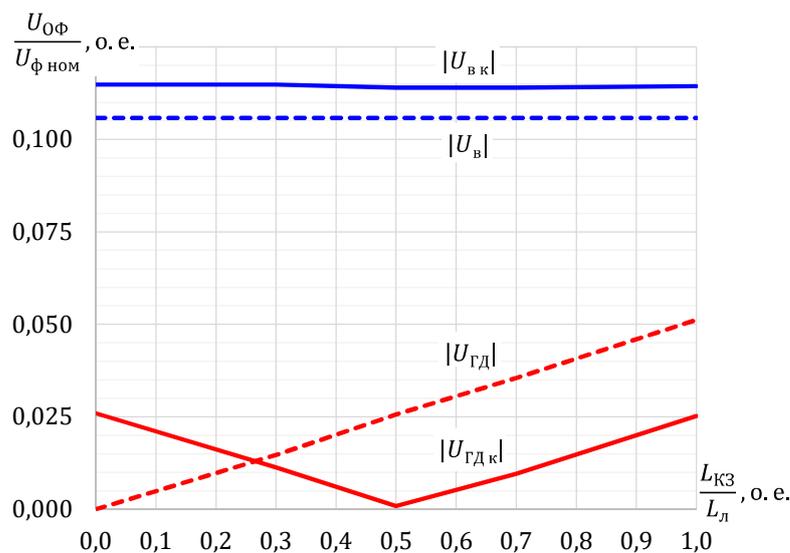


Рис. 3 – Зависимость реального (пунктирная линия) и компенсированного (сплошная линия) напряжения отключенной фазы от места короткого замыкания на линии без ШР в режиме горения дуги и в режиме восстановления напряжения при угле передачи мощности  $\delta_{л} = 30^\circ$

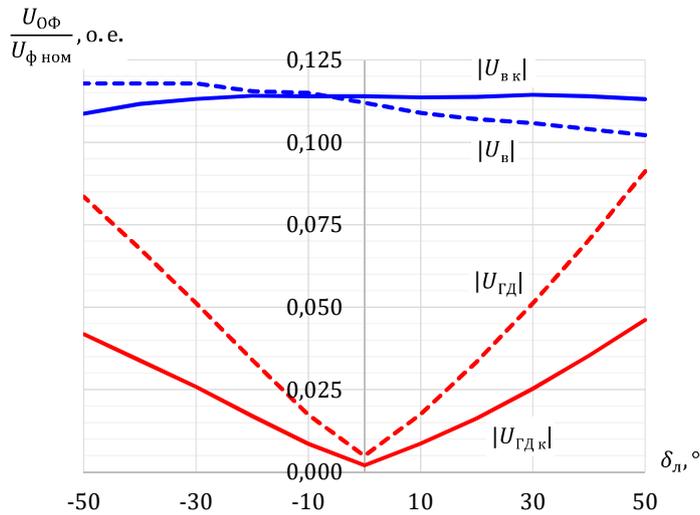


Рис. 4 – Зависимость реального (пунктирная линия) и компенсированного (сплошная линия) напряжения отключенной фазы от угла передачи мощности на линии без ШР в режиме горения дуги на удаленном конце линии ( $\frac{L_{КЗ}}{L_{л}} = 1$ ) и в режиме восстановления напряжения

Коэффициенты компенсации по активному и реактивному сопротивлениям определяется согласно формулам:

$$k_{\text{комп } R} = \frac{R_0 - R_1}{(r_{0 \text{ уст}} - r_{1 \text{ уст}}) \cdot L_{л \text{ уст}}} = 0,5, \quad (16)$$

$$k_{\text{комп } X} = \frac{X_0 - X_1}{(x_{0 \text{ уст}} - x_{1 \text{ уст}}) \cdot L_{л \text{ уст}}} = 0,5, \quad (17)$$

Разности сопротивлений по нулевой и прямой последовательности для активных и реактивных составляющих соответственно могут быть найдены по формулам:

$$R_0 - R_1 = \frac{3U_{\phi} \cos(\varphi)}{I_{\phi}}, \quad (18)$$

$$X_0 - X_1 = \frac{3U_{\phi} \sin(\varphi)}{I_{\phi}}, \quad (19)$$

где  $U_{\phi}$  и  $I_{\phi}$  – модули напряжения и тока линии на входах устройства.

**[015049] ПО Унч ОКПД** реагирует на низкочастотную составляющую напряжения отключенной в цикле ОАПВ фазы, выделенной фильтром низкой частоты с частотой среза 45 Гц. Уставка срабатывания **ПО Унч ОКПД** по напряжению не регулируется и равна 3,0 В.

**[012083] ПО 3I0 ОКПД** реагирует на ток НП с компенсацией емкостного тока и служит для разрешения действия ИО РСФ и запрета действия **[015048] ПО Уоф ОКПД, чувствительный** в логику.

**[019001] ИО РСФ ОКПД** реагирующий на угол между векторами тока НП и напряжения отключенной фазы с компенсацией по току  $3I_0$ .

Зона блокирования **ИО РСФ ОКПД** представлена на рисунке 5. Срабатывание происходит когда угол  $\varphi$  между векторами тока и напряжения находится в пределах области срабатывания, т.е при  $\varphi \in [315^\circ; 45^\circ] \cup [135^\circ; 225^\circ]$ . В качестве пороговых органов используются **ПО Уоф ОКПД, чувствительный** и **ПО 3I0 ОКПД**.

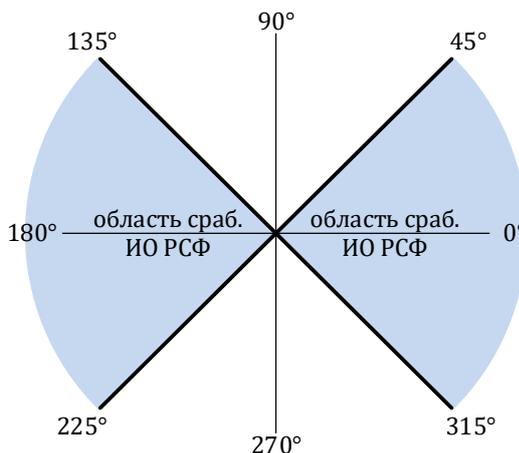


Рис. 5 – Характеристика срабатывания ИО РСФ ОКПД

#### 5.1.4.2 Орган выявления успешности включения (ОВУВ)

Орган предназначен для определения факта успешного включения удаленного конца линии от ОКПД или расчетной паузы ОАПВ. То есть функция ОВУВ может быть применена в том числе и при выведенной функции ОКПД. И наоборот, если функция ОКПД введена на одной из сторон линии, то на другой стороне в обязательном порядке должна быть введена функция ОВУВ.

**[015050] ПО Уоф ОВУВ** реагирует на компенсированную по току  $3I_0$  («вынос на середину линии») величину напряжения отключенной в цикле ОАПВ фазы согласно формуле (13). Уставка **ПО Уоф ОВУВ** не регулируется и равна 40 В.

**[015051] ПО ЗУ0 блокировки ОВУВ** реагирует на междуфазное<sup>8</sup> напряжение НП с компенсацией по току  $3I_0$  («вынос ТН на удаленный конец линии»):

$$3U_{0к} = |3\dot{U}_0 - k_{\text{комп}} \cdot \sqrt{3} \cdot 3\dot{I}_0 \cdot Z_0|, \quad (20)$$

где  $3\dot{U}_0$  – вектор междуфазного напряжения НП линии;

$3\dot{I}_0$  – вектор тока НП линии;

$k_{\text{комп}}$  – нерегулируемый коэффициент компенсации по току  $3I_0$  («вынос ТН на линию»), равный 1,0;

Коэффициенты компенсации по активному и реактивному сопротивлениям определяется согласно формулам (16) и (17) соответственно.

**[015051] ПО ЗУ0 блокировки ОВУВ** блокирует действие **[015050] ПО Уоф ОВУВ** в логику в неполнофазном режиме ОАПВ до включения фазы на конце линии, который включается первым. Уставка срабатывания **ПО ЗУ0 блокировки ОВУВ** не регулируется и равна 50,0 В.

<sup>8</sup> Вычисленное из напряжения на зажимах устройства звезды или разомкнутого треугольника, в зависимости от положения программной наклейки **[050273] Напряжение ЗУ0**, однако уставка во вторичных величинах всегда задается в масштабе междуфазных величин.

## 5.1.5 Времена включения отключенной в цикле ОАПВ фазы

### 5.1.5.1 Включение от РП

По данным эксплуатационной статистики доля самоустраняющихся однофазных КЗ на землю на ВЛ 330-750 кВ варьируется от 65 до 80%, что позволяет использовать расчетную паузу (РП) в качестве основного способа включения отключенной в цикле ОАПВ фазы. Величина РП обусловлена статистическим временем горения дуги на отключенной с двух концов линии фазе из-за электростатических и электромагнитных связей с неотключенными фазами. При этом сама дуга явление нестационарное, подверженное внешнему влиянию.

Выдержка времени РП отсчитывается от фиксации пуска ОАПВ и выбирается на основе опытных данных о зависимости времени гашения дуги от амплитуды установившегося тока подпитки дуги [1]. С помощью полиномиальной аппроксимации данные графика [1, рисунок 5.16] в промежутке от 10 до 90 А можно свести к полиному второго порядка:

$$t_{\text{гаш}} = 3 \cdot 10^{-4} \cdot I_{\text{дм}}^2 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot I_{\text{дм}} + 0,3, \quad (21)$$

где  $t_{\text{гаш}}$  – время гашения дуги подпитки с вероятностью 90%;

$I_{\text{дм}}$  – амплитудное значение установившегося тока подпитки дуги.

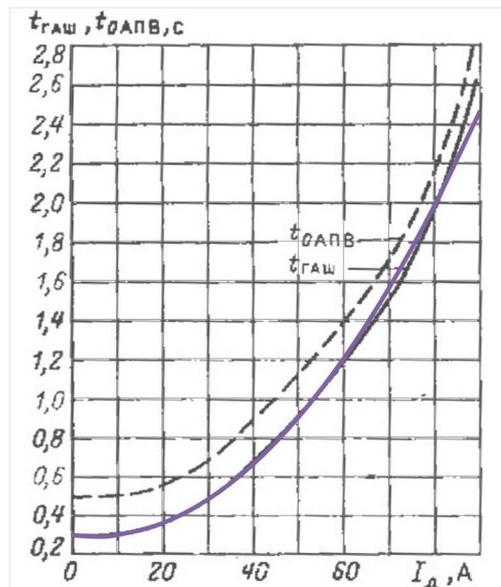


Рис. 6 – Зависимость времени гашения дуги подпитки (с вероятностью 90%) от амплитуды установившегося тока подпитки дуги для ВЛ СВН согласно [1, рисунок 5.16]:  $t_{\text{гаш}}$  – опытные данные с наложением на них аппроксимированной функции второго порядка,  $t_{\text{ОАПВ}}$  – РП ОАПВ

Амплитуду установившегося максимального тока подпитки дуги можно определить по расчетным данным [1, таблицы 3.9-3.11] приведенных на рисунке 7. Токи рассчитаны для конструктивных параметров ВЛ, указанных в [1, таблица 3.8], однако при пересчете по формуле [1, таблица 3.44] отклонение не превышает 2 А при длине линии до 400 км и 3 А при длине свыше 400 км. Учитывая большое влияние внешних факторов на процесс горения дуги, данные отклонения не существенны.

Следует иметь ввиду, что графики построены для максимальных расчетных токов, тогда как реальные токи дуги меньше расчетных. Кроме того, для уменьшения токов подпитки и ускорения гашения дуги в нейтраль

ШР устанавливаются компенсационные реакторы (КР), которые вводятся в работу только на время бестоковой паузы ОАПВ.

Для линий без КР путем линейной аппроксимации данных из рисунка 7 можно получить следующие формулы для классов напряжения:

$$I_{дт}^{330 \text{ кВ}} = 0,10 \cdot L_{л}, \quad (22)$$

$$I_{дт}^{500 \text{ кВ}} = 0,13 \cdot L_{л}, \quad (23)$$

$$I_{дт}^{750 \text{ кВ}} = 0,20 \cdot L_{л}, \quad (24)$$

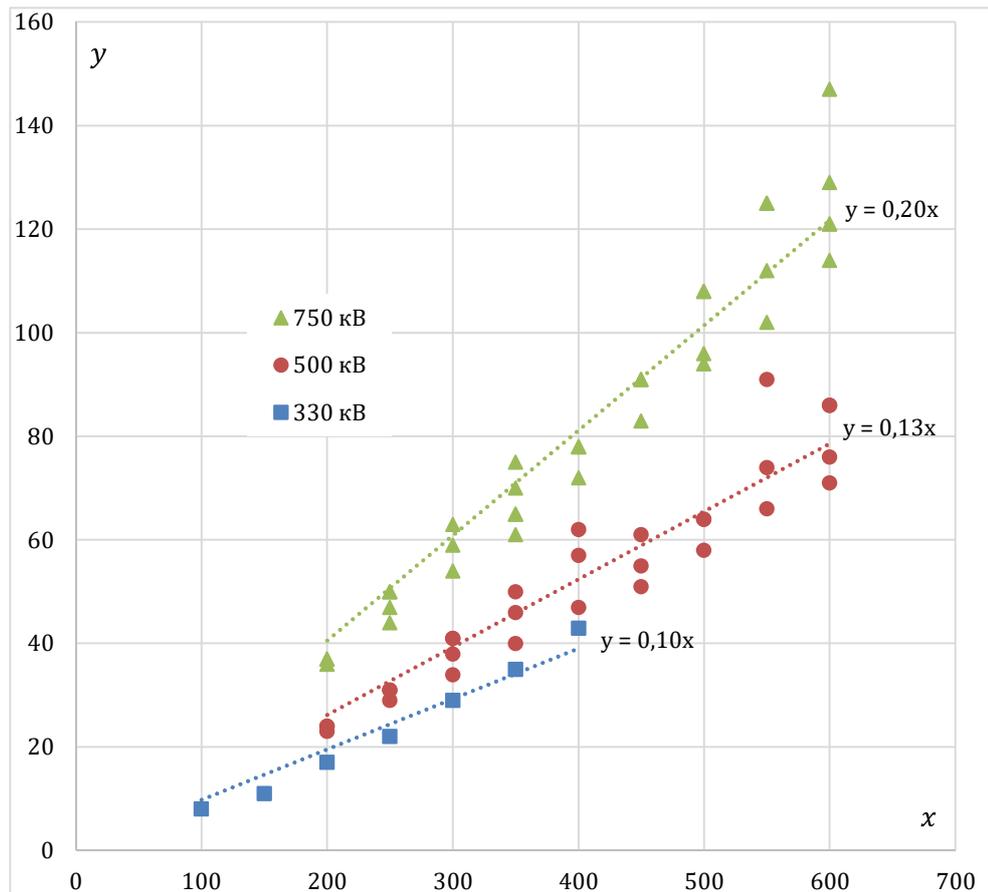


Рис. 7 – Линии тренда (с пересечением через ноль) зависимости амплитуд максимального тока дуги от длины ВЛ при угле передачи мощности равном волновой<sup>9</sup> длине ВЛ:  $y$  – амплитуда тока в А,  $x$  – длина линии в км

Подставив формулы (22), (23) и (24) в формулу (21) получим формулы расчета времен гашения дуги для классов напряжения:

$$t_{гаш}^{330 \text{ кВ}} = 3,00 \cdot 10^{-6} \cdot L_{л}^2 - 3,0 \cdot 10^{-4} \cdot L_{л} + 0,3, \quad (25)$$

$$t_{гаш}^{500 \text{ кВ}} = 5,07 \cdot 10^{-6} \cdot L_{л}^2 - 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot L_{л} + 0,3, \quad (26)$$

$$t_{гаш}^{750 \text{ кВ}} = 12,0 \cdot 10^{-6} \cdot L_{л}^2 - 6,0 \cdot 10^{-4} \cdot L_{л} + 0,3, \quad (27)$$

<sup>9</sup> Из-за разветвленности сети линий СВН максимальный угол передачи мощности в них не превышает волновую длину линии по прямой последовательности  $\lambda_1 = L_{л} \sqrt{x_1 b_1}$ , и увеличение тока подпитки дуги в неполнофазном режиме ОАПВ выражено в них относительно слабо.

Для реактированных и не реактированных линий может быть использована единая зависимость времени гашения от тока дуги, таким образом величина расчетной паузы ОАПВ для линии в целом (без учета использования ОКПДУВ) может быть найдена по формуле:

$$t_{\text{РП}} = t_{\text{гаш}} + t_{\text{ДС}}, \quad (28)$$

где  $t_{\text{ДС}}$  – время деионизации среды по рекомендациям литературы [1] принимается равным 0,2 с.

**Для линий с КР<sup>10</sup>** согласно [1, таблицам 6.1-6.3] максимальные величины амплитуд токов подпитки дуги уменьшаются минимум в 2 раза. Таким образом, для нахождения максимальных токов достаточно в формулах расчета токов (22), (23) и (24) уменьшить коэффициенты в 2 раза, и подставив полученные выражения в формулу (21) получим:

$$t_{\text{гаш}}^{330 \text{ кВ}} = 0,75 \cdot 10^{-6} \cdot L_{\text{л}}^2 - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot L_{\text{л}} + 0,3, \quad (29)$$

$$t_{\text{гаш}}^{500 \text{ кВ}} = 1,27 \cdot 10^{-6} \cdot L_{\text{л}}^2 - 1,95 \cdot 10^{-4} \cdot L_{\text{л}} + 0,3, \quad (30)$$

$$t_{\text{гаш}}^{750 \text{ кВ}} = 3,0 \cdot 10^{-6} \cdot L_{\text{л}}^2 - 3,0 \cdot 10^{-4} \cdot L_{\text{л}} + 0,3, \quad (31)$$

При этом ток подпитки становится слабо зависимым от длины линии и величина  $t_{\text{гаш}}$  для длины линии от 0 до 200 км практически не меняется и равна 0,3 с и только для линии 300 км увеличивается до 0,35 с.

Следует иметь ввиду, что формулы (25) - (27) и (29) - (31) отражают лишь математическое ожидание времени гашения дуги и не исключают его значительного разброса ввиду многочисленности факторов, влияющих на процесс горения дуги. Целесообразно корректировать  $t_{\text{гаш}}$  (преимущественно в большую сторону) на основе прямых испытаний вводимой в эксплуатацию линии, либо в процессе ее эксплуатации.

### 5.1.5.2 Включение от ОКПД

Из-за нестационарности дуги вследствие влияния внешних факторов, длительных переходных процессах в фильтрах большого порядка, относительно небольшой величины восстанавливающегося напряжения, а для реактированных линий еще и биениями амплитуды, выдержки времени ОКПД получаются сопоставимы с реальными среднестатистическими временами гашения дуги. Поэтому включение от ОКПД является дополнительным способом включения отключенной в цикле ОАПВ фазы, служащей для повышения надежности определения факта погасания дуги в цикле ОАПВ. То есть расчет и задание РП обязательны, независимо от того, используется ОКПД или нет.

Несмотря на хорошую статистику использования ОАПВ (даже на длинных ВЛ без КР), остается 15-30% случаев неуспешных включений, что приводит к нежелательным воздействиям на силовое и коммутационное оборудование. Происходит это преимущественно из-за устойчивого характера однофазных КЗ на землю, которые делают бесполезным сам принцип включения фазы от расчетной паузы. Для таких случаев в логике ОКПДУВ предусмотрена функция отключения трех фаз, если за время РП не было ни одной попытки гашения дуги (для версий ПО терминала от 4хх и выше).

Задержки действия ПО и ИО КВД на формирование сигнала [152207] **Включение от ОКПДУВ** выбираются исходя из времени окончательного гашения дуги  $t_{\text{ОГ}}$ , после которого исключается повторный пробой дугового промежутка. В отличие от  $t_{\text{гаш}}$  из формулы (21) время  $t_{\text{ОГ}}$  отсчитывается непосредственно от момента

<sup>10</sup> Справедливо и для линий где вместо связки ШР + КР используется управляемый шунтирующий реактор (УШР), увеличивающий поперечную индуктивность отключенной в цикле ОАПВ фазы.  
ЭКРА.650323.091 Д7

срабатывания органов КПД, фиксирующих попытку гашения. Попыток гашения дуги может быть несколько, поэтому необходимо не только выдержать время, при котором произойдет деионизации среды в которой горела дуга, но и проверить эту среду повышенным напряжением (аналог операции зондирования). Иначе при включении фазы на номинальное напряжение или, еще хуже, при включении с перенапряжением, произойдет пробой дугового промежутка.

Для реактированных линий, с целью проверки канала дуги повышенным напряжением, за время окончательного гашения дуги  $t_{0Г}$  примем время до первого максимума биений, но не меньше времени деионизации среды  $t_{ДС}$ :

$$t_{0Г} = \max\left(\frac{T_6}{2}, t_{ДС}\right) + t_{зап}, \quad (32)$$

где  $T_6$  – измеренный по осциллограммам период биений;

$t_{ДС}$  – время деионизации среды по рекомендациям литературы [1] принимается равным 0,2 с;

$t_{зап}$  – время запаса, выбирается равным 0,02 с;

Время деионизации среды  $t_{ДС}$  характеризует время, после которого дуговой промежуток способен выдержать максимальное восстанавливающееся напряжение. На линиях с нерезонансной степенью компенсации реактивной мощности восстанавливающееся напряжение значительно меньше номинального, а на неактивированных коротких линиях вообще не превышает 15 % от номинала [1, таблица 3.9]. Тогда как перенапряжения при включении с учетом устройств ограничения могут достигать от 1,2 до 2,0  $U_{НОМ}$ , в зависимости от класса напряжения линии. В случае неполного устранения причины повреждения, когда прочность изоляции по сравнению с проектной уменьшилась (повреждение изолятора или уменьшение длины изоляционного промежутка), ни выдержки времени ОКПД, ни РП не могут гарантировать выдерживание коммутационного перенапряжения. Таким образом, даже если дуга погасла, гарантировать успешность включения отключенной в цикле ОАПВ фазы можно только с помощью зондирования напряжением выше номинального. На реактированных линиях этот вопрос частично решается путем шунтирования<sup>11</sup> компенсационных реакторов, расшунтированных в цикле ОАПВ для уменьшения тока подпитки дуги. Это позволяет повысить восстанавливающееся напряжение с 5 – 10 % до 30 – 125 % от номинала [1, параграф 8.8], после чего устройство ОКПД подтверждает факт погасания дуги и разрешает включение линии.

Проверка повышенным восстанавливающимся напряжением без операции зондирования позволяет повысить вероятность успешного включения путем относительно незначительного увеличения времени  $t_{0Г}$ . Так как на неактивированных линиях амплитуда восстанавливающегося напряжения монотонно убывает со временем, то проверка возможна только на реактированных линиях где напряжение имеет форму биений. Сложность проверки обусловлена прямой зависимостью амплитуды восстанавливающегося напряжения от периода его биений. С одной стороны, чем больше период биений, тем дольше достигается максимум биений, что дает время для восстановления прочности дугового промежутка. Но с другой стороны, чем больше период биений, тем больше и амплитуда максимума (ближе к резонансу), которую нужно выдержать дуговому промежутку. Зависимость на рисунке 8 из литературы [1, рисунок 3.13] показывает, что номинальное напряжение достижимо только на резонансных линиях с большим периодом биений. При малых степенях компенсации реактивной

<sup>11</sup> В случае применения УШР - уменьшение индуктивности на эквивалентную величину.

мощности, а следовательно и малых периодах биений, повторный пробой наиболее вероятен в первом максимуме биений, реже во втором.

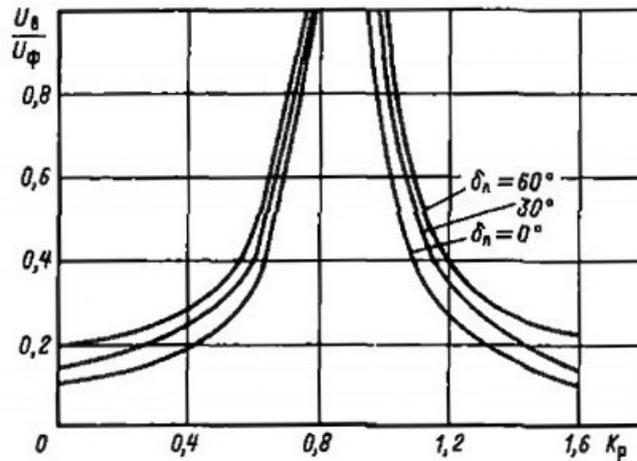


Рис. 8 – Зависимость кратности восстанавливающегося напряжения от степени компенсации реактивной мощности на ВЛ 500 кВ длиной 400 км

Для случая, когда отсутствует осциллограмма бестоковой паузы, на которой возможно измерить период биений непосредственно, можно использовать рассчитанный по формуле (33) период  $T_{б\text{ расч}}$  с учетом возможной ошибки +50%. То есть принять  $T_{б} = 1,5 \cdot T_{б\text{ расч}}$  при расчетах  $t_{ог}$  по формуле (32).

Период биений напряжения отключенной в цикле ОАПВ фазы может быть рассчитан по формуле:

$$T_{б} = \frac{1}{|f_{пр} - f_{св}|}, \quad (33)$$

где  $f_{пр}$  – частота принужденной составляющей напряжения (частота ЭДС сети);

$f_{св}$  – частота свободной составляющей напряжения (собственная частота ВЛ), в отсутствии аварийных осциллограмм может быть рассчитана согласно [1, формула 8.19] по формуле:

$$f_{св\text{ расч}} = f_{пр} \cdot \sqrt{\frac{K_p}{0,92}}, \quad (34)$$

где  $K_p$  – степень компенсации реактивной мощности линии шунтирующими реакторами в неполнофазном режиме ОАПВ<sup>12</sup> берется по паспорту, либо рассчитывается по формуле (35);

$$K_p = \frac{B_p \cdot Z_B}{2 \tan \frac{\lambda_1}{2}}, \quad (35)$$

где  $B_p$  – общая поперечная проводимость всех ШР, подключенных к линии в цикле ОАПВ, рассчитываемая по формуле (36);

$Z_B$  – волновое сопротивление линии по прямой последовательности, рассчитываемое по формуле (37);

$\lambda_1$  – волновая длина линии по прямой последовательности, рассчитываемая по формуле (38).

$$B_p = \frac{N_p}{2\pi f_{пр} L_p}, \quad (36)$$

<sup>12</sup> Если в цикле ОАПВ вместе с отключением фазы линии происходит отключение фазы реактора, то степень компенсации  $K_p = 0$ . Это равносильно установке реакторов на шинах подстанции, поэтому должно применяться ОКПД для нереактированных линий.

где  $N_p$  – количество ШР, подключенных к линии в цикле ОАПВ;

$L_p$  – индуктивность одного шунтирующего реактора.

$$Z_B = \sqrt{\frac{x_{1\text{уст}}}{b_{1\text{уст}}}}, \quad (37)$$

$$\lambda_1 = L_{л\text{уст}} \cdot \sqrt{x_{1\text{уст}} b_{1\text{уст}}}, \quad (38)$$

где  $x_{1\text{уст}}$  – уставка [050344] Удельное реактивное сопротивление линии по ПП ( $x_1$ );

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

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

## 5.2 Расчет и выбор параметров настройки (уставок) и алгоритмов функционирования функции «Однофазное автоматическое повторное включение»

### 5.2.1 Выбор уставок дистанционных избирателей поврежденных фаз (ЗИПФ)

#### 5.2.1.1 Выбор уставки [152307] Наклон характеристик ИО Z ипф и Z ипфк

Угол линии вычисляется по заданным уставкам удельных параметров линии:

$$\varphi_l = \arctg\left(\frac{x_{1\text{уст}}}{r_{1\text{уст}}}\right), \quad (39)$$

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 ( $r_1$ ).

Уставка [152307] Наклон характеристик ИО Z ипф и Z ипфк выбирается равной:

$$\varphi_{1\text{ ИПФ уст}} = \varphi_l, \quad (40)$$

#### 5.2.1.2 Выбор уставок ЗИПФ по активной составляющей $R_{уст}$ сопротивления

Уставки [152303]  $R_{уст}$  ИО Z ипф ( $R_{ИПФ\text{уст}}$ ) и [152305]  $R_{уст}$  ИО Z ипфк ( $R_{ИПФК\text{уст}}$ ) определяются возможным активным сопротивлением в месте повреждения, которое при однофазных КЗ может составлять от 10 до 30 Ом (первичных) и его величина практически не зависит от длины линии.

Определим сопротивление нагрузки в режиме с максимальным рабочим током:

$$Z_{\text{раб мин}} = \frac{\dot{U}_{\text{ф раб мин}}}{\dot{I}_{\text{ф раб макс}}}, \quad (41)$$

Активная и реактивная составляющие сопротивления находятся по формулам:

$$R_{\text{раб мин}} = |Z_{\text{раб мин}}| \cdot \cos(\varphi_{\text{раб макс}}), \quad (42)$$

$$X_{\text{раб мин}} = |Z_{\text{раб мин}}| \cdot \sin(\varphi_{\text{раб макс}}), \quad (43)$$

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 комплекты защит по концам линии;

$\varphi_{\text{раб макс}}$  – угол вектора полного сопротивления нагрузки  $Z_{\text{раб мин}}$ .

Так как вырез нагрузочного режима не действует на ЗИПФ, уставки по активной составляющей сопротивления [152303] **Руст ИО Z ипф** ( $R_{\text{ИПФ уст}}$ ) и [152305] **Руст ИО Z ипфк** ( $R_{\text{ИПФК уст}}$ ) определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии:

$$R_{\text{ИПФ уст}} = R_{\text{ИПФК уст}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot \left( R_{\text{раб мин}} - \frac{X_{\text{раб мин}}}{\tan \varphi_{\text{л}}} \right), \quad (44)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 0,8;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата, принимается равным 1;

$R_{\text{раб мин}}$  – минимальное активное сопротивление в нагрузочном режиме, которое рассчитывается по выражению (42);

$X_{\text{раб мин}}$  – минимальное реактивное сопротивление в нагрузочном режиме, которое рассчитывается по выражению (43);

$\varphi_{\text{л}}$  – угол линии, который рассчитывается по формуле (39).

### 5.2.1.3 Выбор уставок ЗИПФ по реактивной составляющей Хуст сопротивления

Уставки по реактивной составляющей сопротивления [152301] **Хуст ИО Z ипф** ( $X_{\text{ИПФ уст}}$ ) и [152304] **Хуст ИО Z ипфк** ( $X_{\text{ИПФК уст}}$ ) определяются по формуле:

$$X_{\text{ИПФ уст}} = X_{\text{ИПФК уст}} = k_{\text{ч}} \cdot x_{1 \text{ уст}} \cdot L_{\text{л уст}}, \quad (45)$$

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 (Лл)**.

### 5.2.1.4 Выбор уставки [152302] Хуст смещения ИО Z ипф

В первом приближении уставка по реактивной составляющей сопротивления смещения [152302] **Хуст смещения ИО Z ипф** определяется по формуле:

$$X_{\text{ИПФ смещ уст}} = 0,1 \cdot X_{\text{ИПФ уст}} \quad (46)$$

### 5.2.1.5 Выбор уставок корректирующих множителей коэффициентов компенсации тока НП

Описание и рекомендации по расчету уставок [050363] **Коррект. множитель kкR коэф. компенсации тока 3I0 по R** и [050364] **Коррект. множитель kкX коэф. компенсации тока 3I0 по X** представлено в рекомендациях по выбору уставок ДЗ в отдельном документе.

### 5.2.1.6 Проверка уставок реле сопротивления $Z_{\text{ИПФ}}$ и $Z_{\text{ИПФК}}$ в программе моделирования повреждений в электрических системах

Окончательный выбор уставок ИО  $Z_{\text{ИПФ}}$  и  $Z_{\text{ИПФК}}$  производится после проверки чувствительности и отстройки в специализированном программном комплексе, где учет влияния сопротивления дуги более точен.

Предварительно уставка по коэффициенту  $k_{ум\ уст}$  уменьшения компенсации токов НП в ИО  $Z_{ИПФК}$  принимается равной 1,0.

В таблице 2 представлен список минимально необходимых проверок, которые должны быть выполнены в программе моделирования. Перечень расчетных условий, определяющих границы характеристик ИО, может быть расширен при необходимости.

Обозначения из таблицы 2.

$R_{п}$  – переходное сопротивление;

$I_{раб\ макс}$  – максимальный фазный рабочий ток;

$Z_{раб\ мин}$  – сопротивление нагрузки в режиме с максимальным рабочим током.

Таблица 2 – Список минимально необходимых проверок при выборе уставок ИО

Замер	Режим	Проверяемые замеры составляющих сопротивлений в месте установки защиты						Условие проверки
		Фаза А		Фаза В		Фаза С		
		R	X	R	X	R	X	
1.1	Металлическое КЗ А0 в начале ВЛ			V	V	V	V	Несрабатывание по фазам В и С
1.2	Металлическое КЗ А0 в конце ВЛ			V	V	V	V	
2	Неполнофазный режим ОАПВ с отключенной ф.А			V	V	V	V	
3	Включение от ОАПВ ф.А без повреждения			V	V	V	V	
4.1	КЗ А0 через $R_{п}$ в начале ВЛ	V	V					Срабатывание по фазе А
4.2	КЗ А0 через $R_{п}$ в конце ВЛ	V	V					
5.1	КЗ А0 через $R_{п}$ в начале ВЛ с отключением ф.А на удаленном конце	V	V					
5.2	КЗ А0 через $R_{п}$ в конце ВЛ с отключением ф.А на удаленном конце	V	V					
6	Нагрузочный режим с током $I_{раб\ макс}$ (режим $Z_{раб\ мин}$ )	V	V					Несрабатывание по фазе А
7.1	КЗ В0(С0) через $R_{п}$ в начале ВЛ в неполнофазном режим ОАПВ с отключенной ф.А			V	V	V	V	Срабатывание по фазе В(С)
7.2	КЗ В0(С0) через $R_{п}$ в конце ВЛ в неполнофазном режим ОАПВ с отключенной ф.А			V	V	V	V	

Замеры по чувствительности  $R_{чув}$  и  $X_{чув}$  (4, 5 и 7) должны удовлетворять условиям срабатывания, указанных в системе неравенств 9 и 10 с учетом коэффициента  $k_{ч} = 1,2$ . Таким образом, для надежного

срабатывания, должны выполняться все неравенства хотя бы в одной из двух систем<sup>13</sup> неравенств (срабатывает хотя бы один ИО):

$$\left\{ \begin{array}{l} |X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}}| \leq X_{\text{ИПФ уст}} \\ \left| R_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} - \frac{X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}}}{\tan \varphi_1} \right| \leq R_{\text{ИПФ уст}} \\ X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} \geq X_{\text{ИПФ смещ уст}} \\ \frac{X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}}}{\tan \varphi_3} - R_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} \leq 0 \end{array} \right. , \quad (47)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} |X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}}| \leq X_{\text{ИПФК уст}} \\ \left| R_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} - \frac{X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}}}{\tan \varphi_1} \right| \leq R_{\text{ИПФК уст}} \\ \frac{X_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} + 0,125 \cdot X_{\text{ИПФК уст}}}{\tan \varphi_3} - R_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} \leq 0 \\ 0,125 \cdot X_{\text{ИПФК уст}} - R_{\text{чув}} \cdot k_{\text{ч}} \cdot \tan \varphi_2 \geq 0 \end{array} \right. , \quad (48)$$

Логическое представление условия чувствительности уставок ИО для замеров по чувствительности  $R_{\text{чув}}$  и  $X_{\text{чув}}$  (4, 5 и 7) показано на рисунке 9.

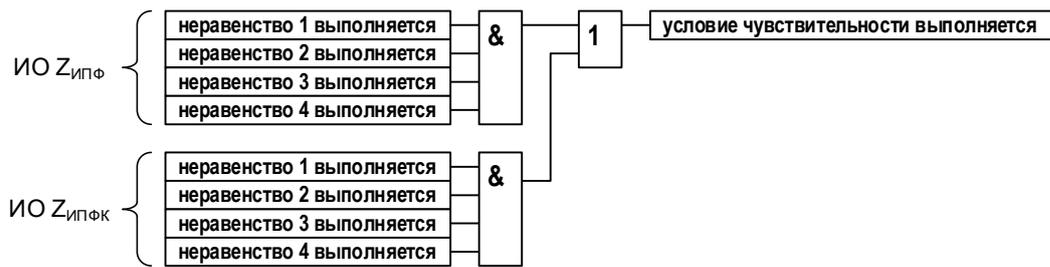


Рис. 9 – Логическое представление условия чувствительности уставок ИО

Отстрочные замеры  $R_{\text{отс}}$  и  $X_{\text{отс}}$  (1, 2, 3 и 6) должны удовлетворять условиям несрабатывания, полученным путем инвертирования знаков в системах неравенств 9 и 10 с учетом коэффициента  $k_{\text{отс}} = 0,83$ . Таким образом, для надежной отстройки **должно выполняться хотя бы одно неравенство в каждой из двух совокупностей<sup>14</sup> неравенств (оба ИО не срабатывают):**

$$\left[ \begin{array}{l} |X_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}}| > X_{\text{ИПФ уст}} \\ \left| R_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}} - \frac{X_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}}}{\tan \varphi_1} \right| > R_{\text{ИПФ уст}} \\ X_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}} < X_{\text{ИПФ смещ уст}} \\ \frac{X_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}}}{\tan \varphi_3} - R_{\text{отс}} \cdot k_{\text{отс}} > 0 \end{array} \right. , \quad (49)$$

<sup>13</sup> Знак системы «{» означает операцию конъюнкции («И»)

<sup>14</sup> Знак совокупности «[» означает операцию дизъюнкции («ИЛИ»)

$$\left[ \begin{array}{l} |X_{отс} \cdot k_{отс}| > X_{ИПФКуст} \\ \left| R_{отс} \cdot k_{отс} - \frac{X_{отс} \cdot k_{отс}}{\tan \varphi_1} \right| > R_{ИПФКуст} \\ \frac{X_{отс} \cdot k_{отс} + 0,125 \cdot X_{ИПФКуст}}{\tan \varphi_3} - R_{отс} \cdot k_{отс} > 0 \\ 0,125 \cdot X_{ИПФКуст} - R_{отс} \cdot k_{отс} \cdot \tan \varphi_2 < 0 \end{array} \right. , \quad (50)$$

Логическое представление условия отстройки уставок ИО для отстроечных замеров  $R_{отс}$  и  $X_{отс}$  (1,2,3 и 6) показано на рисунке 10.

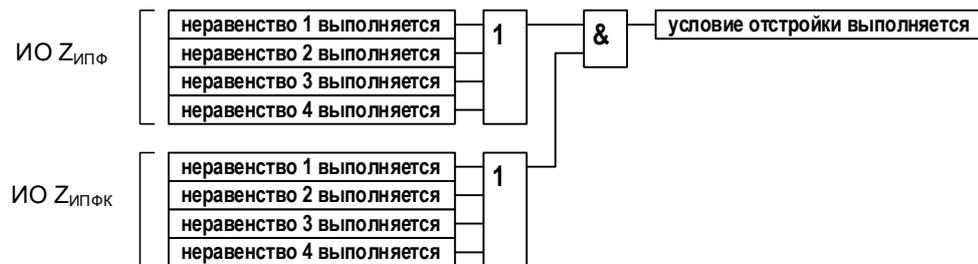


Рис. 10 – Логическое представление условия отстройки уставок ИО

Если условие отстройки для ИО  $Z_{ИПФ}$  или  $Z_{ИПФК}$  не выполняется, то следует уменьшить значение одной из уставок по оси R или X, в зависимости от того что более выгодно для обеспечения чувствительности ИО. Например, если отстроечный замер лежит в первом квадранте ближе к области нагрузочного режима, то следует уменьшить уставку по оси R для нежелательно срабатывающего(их) ИО. При нежелательном срабатывании ИО  $Z_{ИПФ}$  можно попробовать увеличить уставку [152302] **Хуст смещения ИО Z ипф** ( $X_{ИПФ смещуст}$ ), чтобы отстроечный замер оказался под ней. Если после этого условие чувствительности перестало выполняться, следует попробовать уменьшить уставку [152306] **кум ИО Z ипфк** ( $k_{умуст}$ ) до значения, при котором обеспечивается срабатывание ИО  $Z_{ИПФК}$ . Также может помочь выставление разных значений уставок  $X_{ИПФуст}$  и  $X_{ИПФКуст}$ , но при условии, что при этом обеспечивается зацепление характеристик ИО  $Z_{ИПФ}$  или  $Z_{ИПФК}$  между собой. Если после всего этого чувствительность снова не обеспечивается, то необходимо вновь принять  $X_{ИПФ смещуст}$  в соответствии с формулой (46) и исключить замеры 4 из условия, т.е. посмотреть не будет ли обеспечиваться чувствительность в каскаде.

Для упрощения анализа всего комплекса полученных данных рекомендуется нанести предварительно рассчитанные характеристики ИО, все замеры чувствительности и все отстроечные замеры на одну комплексную плоскость в любом удобном математическом или графическом редакторе, либо при наличии подходящего инструмента непосредственно в самой программе моделирования.

### 5.2.2 Выбор уставок дифференциальных избирателей поврежденных фаз

Данный тип избирателей реализован только в программном обеспечении содержащим функцию [101901] ДЗЛ.

В качестве ДИПФ используются штатные дифференциальные органы ДЗЛ, действующие на отключение. Описание и рекомендации по расчету их уставок приведено в рекомендациях по выбору уставок ЭКРА.650323.037 Д7 «Функция продольной дифференциальной защиты линии электропередачи».

### 5.2.3 Выбор уставок органа, определяющего вид повреждения (ООВП)

#### 5.2.3.1 Выбор уставки [106271] Уср ПО ЗУО ООВП

Уставка по напряжению срабатывания [106271] Уср ПО ЗУО ООВП ( $3U_{0\text{уст}}$ ) рассчитывается по минимальному напряжению НП при однофазном КЗ на землю на удаленном конце линии, в том числе в каскаде отключения поврежденной фазы от ОАПВ. В первом приближении уставка рассчитывается для  $k_{\text{ч}} = 2$  согласно формуле:

$$3U_{0\text{уст}} = 0,5 \cdot 3U_{0\text{КЗ мин}}, \quad (51)$$

где  $3U_{0\text{КЗ мин}}$  – минимальное напряжение по НП при однофазном КЗ на землю на удаленном конце линии.

Если значение  $3U_{0\text{уст}}$  получилось за пределами допустимого диапазона значений уставки, то выставляется предельно допустимое значение и рассчитывается получившийся коэффициент чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0\text{КЗ мин}}}{3U_{0\text{уст}}}, \quad (52)$$

Полученное значение необходимо для проверки чувствительности уставки [106272] Иср ПО ЗЮ ООВП.

#### 5.2.3.2 Выбор уставки [106272] Иср ПО ЗЮ ООВП

Уставка по току срабатывания [106272] Иср ПО ЗЮ ООВП ( $3I_{0\text{уст}}$ ) выбирается исходя из отстройки от тока небаланса в нулевом проводе ТТ, протекающего в максимальном нагрузочном режиме:

$$3I_{0\text{уст}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0\text{нб расч}}}{k_{\text{в}}}, \quad (53)$$

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

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата, принимается равным 0,95;

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

$$3I_{0\text{нб расч}} = I_{\text{раб макс}} \cdot \sqrt{k_{0\text{сети}}^2 + \varepsilon^2} = 0,0361 \cdot I_{\text{раб макс}}, \quad (54)$$

где  $I_{\text{раб макс}}$  – максимальный фазный рабочий ток, выбирается наибольший из двух токов, протекающих через комплекты защит по концам линии;

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

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

#### Определение коэффициента чувствительности уставки [106272] Иср ПО ЗЮ ООВП

Проверка чувствительности [012039] ПО ЗЮ ООВП действующего на отключение, производится для каждого полуконспекта при однофазном КЗ на противоположном по отношению к месту установки рассматриваемого полуконспекта конце линии.

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0\text{КЗ мин}}}{3I_{0\text{уст}}}, \quad (55)$$

где  $3I_{0\text{КЗ мин}}$  – минимальный ток однофазного КЗ по НП;

$3I_{0\text{уст}}$  – уставка [106272] Иср ПО ЗЮ ООВП.

Для обеспечения быстродействия органа ОВП значение хотя бы одного из коэффициентов чувствительности органов **[012039] ПО 310 ООВП** или **[015014] ПО 310 ООВП** должно быть не менее 3,0 о.е., либо одновременно обоих коэффициентов – не менее 2,0 о.е.

Проверочным критерием выбора начального тока срабатывания  $3I_{0\text{уст}}$  является обеспечение его надежного срабатывания при фиксации пуска ОАПВ от телекоманды ТНЗНП (программируемый вход **[152734] Прием ТК\_ТНЗНП**). В данном случае, это означает необходимость согласования **[106272] Icp ПО 310 ООВП** с выбранной для пуска телекоманды ступенью ТНЗНП согласно неравенству:

$$3I_{0\text{уст}} \leq k_n \cdot 3I_{0\text{ст ТНЗНП уст}}, \quad (56)$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности, принимается равным 0,9;

$3I_{0\text{ст ТНЗНП уст}}$  – уставка **[108203] Icp ПО 310 III ст. ТНЗНП** либо уставка **[108204] Icp ПО 310 IV ст. ТНЗНП**, в зависимости от положения программной накладки **[108367] XB17\_ТЗ Пуск ТК\_ТНЗНП от ПО ст. ТНЗНП**;

### 5.2.3.3 Выбор уставки **[106274] Icp ПО БТ ООВП**

Уставка по току срабатывания **[106274] Icp ПО БТ ООВП** рассчитывается<sup>15</sup> по модулю среднего из трех фазных токов при однофазном КЗ на землю в пределах защищаемой линии, а также в режиме асинхронных качаний:

$$I_{\text{ф БТ уст}} = k_{\text{отс}} \cdot \max \left( I_{\text{ф сред}}^{(1)}, I_{\text{ф сред}}^{(\text{кач})} \right), \quad (57)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,25;

$I_{\text{ф сред}}^{(1)}$  – модуль среднего из трех фазных токов при однофазном КЗ;

$I_{\text{ф сред}}^{(\text{кач})}$  – модуль среднего из трех фазных токов при асинхронных качаниях.

### 5.2.3.4 Выбор уставки **[106273] Коэффициент торможения ПО 310 ООВП**

Согласно характеристики торможения изображенной на рисунке 2 уставка **[106273] Коэффициент торможения ПО 310 ООВП** рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{т уст}} = \frac{3I_{0\text{сп}}^{(2)}}{I_{\text{ф БТ уст}} - I_{\text{НЛТ}} \cdot I_{\text{ном}}} \quad (58)$$

где  $3I_{0\text{сп}}^{(2)}$  – рекомендуемый ток срабатывания **[012039] ПО 310 ООВП** по НП при двухфазном КЗ на защищаемой линии с модулем среднего из трех фазных токов равным уставке по току  $I_{\text{ф БТ уст}}$  согласно графику на рисунке 11;

$I_{\text{НЛТ}}$  – кратность тока начала луча участка торможения, которая равна 1,25 о.е.

<sup>15</sup> Для проектных расчетов в сетях 220-750 кВ оценочная величина тока  $I_{\text{ф БТ ОВП уст}}$  может быть принята равной 4,5-5  $I_{\text{ном}}$ .

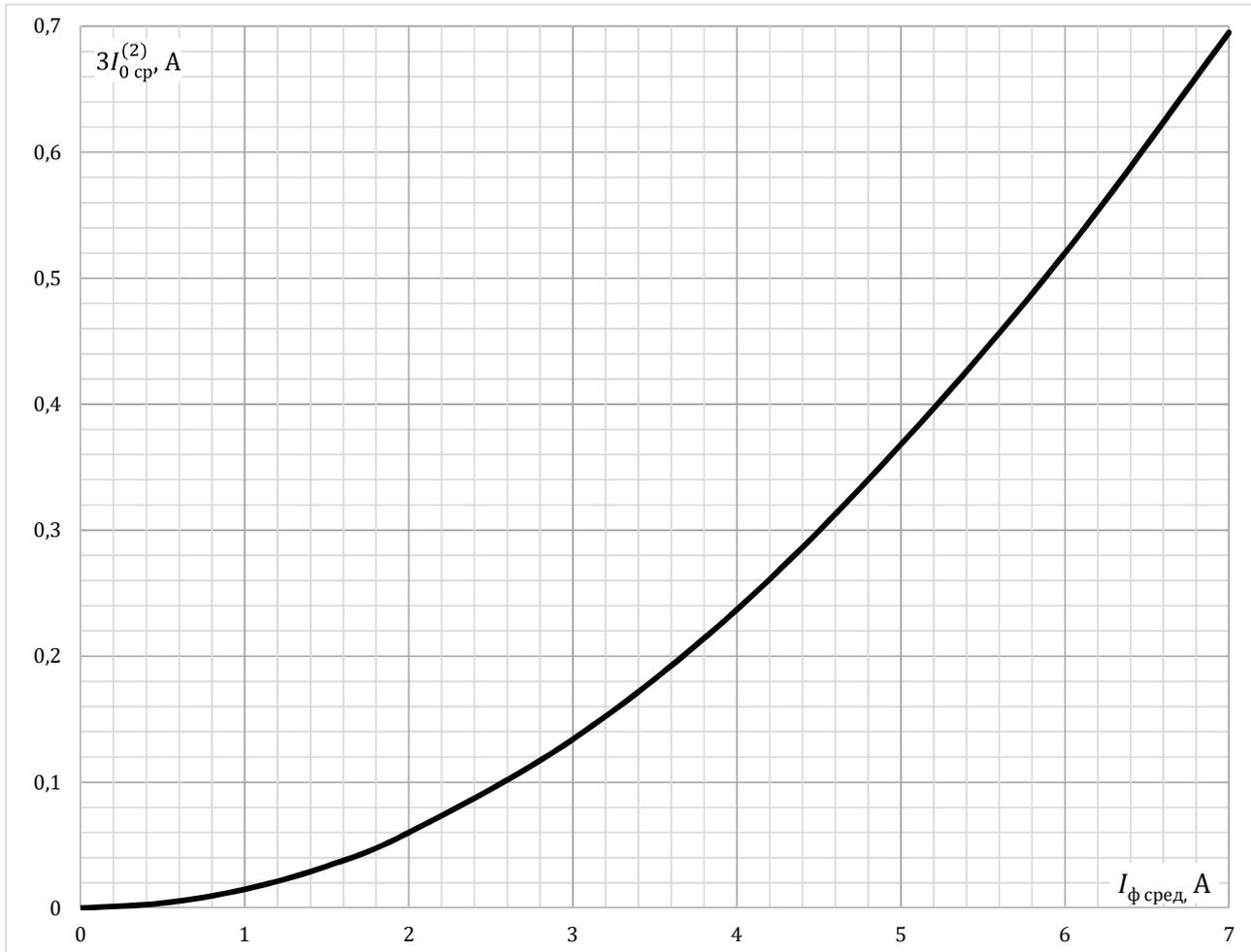


Рис. 11 – График зависимости рекомендуемой величины тока срабатывания [012039] ПО 310 ООВП от величины модуля среднего из трех фазных токов при двухфазном КЗ согласно материалам технического задания на разработку устройства АПВ ВЛ сверхвысокого напряжения института «Энергосетьпроект» г Москва

#### 5.2.4 Выбор уставки [152321] I<sub>ср</sub> ПО I<sub>2</sub> контроля пуска ОАПВ

Ток срабатывания [152321] I<sub>ср</sub> ПО I<sub>2</sub> контроля пуска ОАПВ ( $I_{2 \text{ КП уст}}$ ) рассчитывается для  $k_q = 1,5$  по минимальному току ОП при двухфазном КЗ в конце защищаемой линии:

$$I_{2 \text{ КП уст}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ мин}}^{(2)}}{1,5}, \quad (59)$$

где  $I_{2 \text{ КЗ мин}}^{(2)}$  – минимальный ток ОП при двухфазном КЗ на удаленном конце защищаемой линии.

#### 5.2.5 Выбор уставок органа контроля погасания дуги и выявления успешности включения (ОКПДУВ)

##### 5.2.5.1 Выбор уставок органа контроля погасания дуги (ОКПД)

Основным способом включения отключенной в цикле ОАПВ фазы является расчетная пауза (РП), тогда как ОКПД является дополнительным способом включения, сокращающим бестоковую паузу ОАПВ. Поэтому выбор уставок ОКПД должен руководствоваться принципами надежной отстройки от режима горения дуги, а не срабатывания органа в 100%-ых случаев погасания дуги.

**Для линии с ШР на одном или обоих концах**

Уставка [152312] Уср грубого ПО Уоф ОКПД ( $U_{0Ф\text{ груб уст}}$ ) отстраивается от максимального напряжения горения дуги согласно формуле:

$$U_{0Ф\text{ груб уст}} = k_{отс} \cdot k_{комп} \cdot U_{ГД\text{ макс}}, \quad (60)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, выбирается в соответствии с таблицей 3;

$k_{комп}$  – коэффициент компенсации по току  $3I_0$  («вынос ТН на линию») в формуле (13), равный 0,5;

$U_{ГД\text{ макс}}$  – максимальное напряжение горения дуги на линии на удаленном конце линии при максимальном угле передачи мощности на линии, которое рассчитывается по формуле:

$$U_{ГД\text{ макс}} = 3I_{0\text{ макс}} \cdot \left| \frac{Z_0 - Z_1}{3} \right|, \quad (61)$$

где  $3I_{0\text{ макс}}$  – модуль тока НП в неполнофазном режиме ОАПВ при максимальном угле передачи мощности на линии;

$Z_1$  – комплексное сопротивление линии по ПП, рассчитываемое по формуле (14);

$Z_0$  – комплексное сопротивление линии по НП, рассчитываемое по формуле (15).

Восстанавливающееся напряжение резко возрастает при приближении степени компенсации реактивной мощности к резонансному значению  $K_p = 1,0$  (компенсация 100%), а напряжение горения дуги при этом остается прежним, поэтому для повышения надежности коэффициент отстройки  $k_{отс}$  целесообразно выбирать зависимым от  $K_p$  в соответствии с таблицей 3. Коэффициент  $K_p$  рассчитывается по формуле (35).

Таблица 3 – Коэффициент отстройки для разных степеней  $K_p$  линии

$K_p$ , о.е	$k_{отс}$ , о.е
менее 0,7	2,0
0,7 – 0,85	2,0 – 4,0
0,85 – 1,05 (резонанс)	4,0 – 6,0
1,05 – 1,2	6,0 – 2,0
более 1,2	ОКПД не может быть использован

**Для линии без ШР**

[015048] ПО Уоф ОКПД, чувствительный отстраивается от напряжения горения дуги не уставкой, а с помощью блокировки в логике от срабатывания [012083] ПО 3I0 ОКПД. Схема замещения линии без ШР, а следовательно, и расчет восстанавливающегося напряжения гораздо проще чем на линиях с ШР. Поэтому уставку [152313] Уср чувствительного ПО Уоф ОКПД ( $U_{0Ф\text{ чув уст}}$ ) рассчитывают непосредственно по восстанавливающемуся напряжению согласно формуле:

$$U_{0Ф\text{ чув уст}} = \frac{U_B}{k_{кор} \cdot k_{чув\ 1}}, \quad (62)$$

где  $U_B$  – модуль восстанавливающегося после погасания дуги напряжения отключенной в цикле ОАПВ фазе;

$k_{кор}$  – корректирующий коэффициент, равный 1,2;

$k_{чув\ 1}$  – коэффициент чувствительности выбирается из рекомендуемого диапазона [1,5 - 2,0] и при первом расчете может быть принят равным 2,0.

Восстанавливающееся напряжение на линиях без ШР рассчитывается по формуле [2, формула 2-20]:

$$U_{\text{в}} = U_{\text{ф ном}} \cdot \frac{1 - \frac{b_{0 \text{ уст}}}{b_{1 \text{ уст}}}}{2 + \frac{b_{0 \text{ уст}}}{b_{1 \text{ уст}}}}, \quad (63)$$

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

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

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

Уставка [152311]  $I_{\text{ср}} \text{ ПО } 3I_0 \text{ ОКПД}$  ( $3I_{0 \text{ уст}}$ ) выбирается исходя из условий блокировки [015048]  $\text{ПО } U_{\text{оф}} \text{ ОКПД}$ , чувствительный при больших углах передачи мощности, когда напряжение горения дуги приближается к величине восстанавливающегося напряжения:

$$3I_{0 \text{ уст}} = \frac{U_{\text{оф чув уст}}}{k_{\text{чув } 2} \cdot \left| \frac{Z_0 - Z_1}{3} \right|}, \quad (64)$$

где  $k_{\text{чув } 2}$  – коэффициент чувствительности, равный 1,5<sup>16</sup>.

Если величина  $U_{\text{оф чув уст}}$  и/или  $3I_{0 \text{ уст}}$  получилась меньше минимального значения из допустимого диапазона уставок, то можно попробовать уменьшить  $k_{\text{чув } 1}$  до значения 1,5 и перепроверить уставку снова. Так как ОКПД является дополнительным способом включения, допустимо дальнейшее уменьшение  $k_{\text{чув } 1}$  вплоть до значения 1,2. Если итоговое значение  $3I_{0 \text{ уст}}$  получилось все же меньше минимального значения из допустимого диапазона уставок, то ОКПД не может быть использован.

## 5.2.6 Выбор уставок по времени

В данном разделе приведены рекомендации актуальные для проектных решений, соответствующих соединениям комплектов ОАПВ, указанным в приложении А настоящего документа. При наличии отличий в проекте от указанных в приложении А рекомендаций, связанные с ними рекомендации по выбору уставок могут потребовать пересмотра вплоть до полного отключения функционального блока.

### 5.2.6.1 [152331] DT1\_ОТФ Задержка ОТФ при отказе ОАПВ

Выдержка времени служит для определения факта отказа всех комплектов ОАПВ при срабатывании своих БЗЛ. Выдержка времени выбирается исходя из наихудшего режима, когда в работе остался только внешний комплект ОАПВ (своего конца линии). При этом дается возможность внешнему полукомплекту ОАПВ подействовать на отключение в каскаде:

$$DT1_{\text{ОТФ}} = t_{\text{вых реле}} + t_{\text{прм пуска}}^{\text{ВЗ}} + DT6_{\text{ОАПВ}}^{\text{ВЗ}} + t_{\text{зап}}, \quad (65)$$

где  $t_{\text{вых реле}}$  – время срабатывания выходного реле терминала, принимается равным 0,01 с (при передаче сигнала [152001] Пуск ОАПВ (в ВЗ) во внешний комплект ОАПВ посредством GOOSE принимается равным 0 с);

<sup>16</sup> Точность расчета  $U_{\text{г макс}}$  достаточна для выбора  $k_{\text{чув}} = 1,5$ .

$t_{\text{прм пуск}}^{\text{ВЗ}}$  – нерегулируемая задержка<sup>17</sup> приема сигнала на программируемом входе [152702]

**Прием сигнала 'Пуск ОАПВ от ВЗ'** во внешнем комплекте ОАПВ (ОАПВ ВЗ), равная 0,01 с;

DT6\_ОАПВ<sup>ВЗ</sup> – уставка [152339] **DT6\_ОАПВ Резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ** во внешнем комплекте ОАПВ (ОАПВ ВЗ);

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,04 с.

Приоритет отдается логике ОАПВ внешнего комплекта. Если отключение поврежденной фазы либо всех трех фаз не произошло, то принимается что все комплекты ОАПВ отказали по причине аппаратной неисправности, либо выведены намеренно, но сигнал неготовности на программируемом входе [152705] **Прием сигнала 'Неготовность ОАПВ или ИПФ от ВЗ'** по какой-то причине от них не доходит (типовая электрическая схема обмена сигналами приведена на рисунке 5 приложения А).

#### 5.2.6.2 [152332] DT2\_ОТФ Задержка на срабатывание ЗНР

Выдержка времени служит для формирования сигнала [152171] **ОТФ от ЗНР** при приеме сигналов ЗНФ от АУВ В1 и В2. Уставка **DT2\_ОТФ** выбирается на 0,3 с больше выдержки времени ЗНФ в шкафу АУВ. Из практического опыта задержка ЗНР выбирается равной: 0,25 - 0,35 с – для элегазового и воздушного выключателя, 0,4 - 0,5 с – для масляного выключателя.

#### 5.2.6.3 [152333] DT3\_ОТФ Продление сигнала пуска телекоманд

Выдержка времени служит для продления сигналов пуска телекоманд ОТФ, ОАПВ и ТНЗНП (в ранних версиях ВЧС №2,3 и 4 соответственно) и выбирается в соответствии с требованиями УПАСК.

#### 5.2.6.4 [152334] DT1\_ОАПВ Сброс фиксации пуска

Выдержка времени служит для принудительного сброса триггера ФП и выбирается согласно формуле:

$$DT1\_ОАПВ = DT8\_ОАПВ + t_{\text{вкл В}} + t_{\text{возв ФП}} + t_{\text{зап}}, \quad (66)$$

где DT8\_ОАПВ – уставка [152341] **DT8\_ОАПВ Расчетная пауза**;

$t_{\text{вкл В}}$  – время включения выключателя по паспорту;

$t_{\text{возв ФП}}$  – время формирования сигнала [152064] **Возврат ФП ОАПВ** после включения, которое определяется нерегулируемыми ВВ равными в сумме 0,2 с;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,5 с.

#### 5.2.6.5 [152335] DT2\_ОАПВ Ввод ИПФ на заданное время

Выдержка времени служит для вывода из работы ИПФ неотключенных фаз на линиях, где в неполнофазном режиме ОАПВ возможны качания. Величина выдержки времени зависит от параметров энергосистем и характеризует наименьшее время от момента пуска ОАПВ, через которое могут произойти нарушения синхронной работы генераторов. Для использования ограничивающей выдержки времени программная накладка [152404] **ХВ4\_ОАПВ Ограничение времени самостоятельного действия ЗИПФ** должна быть выставлена в положение 1 - предусмотрено.

<sup>17</sup> До версии ПО терминала Зхх включительно задержка при приеме пуска ОАПВ от ВЗ не предусматривалась.

### 5.2.6.6 [152337] DT4\_ОАПВ Задержка сигнала ФКО1 для формирования ФЦО

Выдержка времени предотвращает блокировку ступеней ТНЗНП от сигнала ФКО1 до тех пор, пока не отключится поврежденная фаза, рассчитывается по формуле:

$$DT4\_ОАПВ = t_{\text{вых реле}} + t_{\text{откл В}} + t_{\text{зап}}, \quad (67)$$

где  $t_{\text{вых реле}}$  – время срабатывания выходного реле терминала, принимается равным 0,01 с (в цепях действия на ЭМО);

$t_{\text{откл В}}$  – полное время отключения выключателя по паспорту;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,01 с.

Выдержка времени также используется для отстройки от приема помех на программируемых входах [152703] Прием сигнала 'ФКО В1 от В3' и [152704] Прием сигнала 'ФКО В2 от В3'.

### 5.2.6.7 [152338] DT5\_ОАПВ Резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ

Выдержка времени резервирует отказ ИПФ своего конца линии из-за нехватки чувствительности при однофазном КЗ через переходное сопротивление. Так как согласно рекомендациям 5.2.1.6 допускается обеспечение чувствительности в каскаде, выдержка времени выбирается согласно формуле:

$$DT5\_ОАПВ = \Delta t_{\text{пуска ОАПВ}} + t_{\text{вых реле}}^{\text{удал}} + t_{\text{откл В}}^{\text{удал}} + t_{\text{сраб ИПФ макс}} + t_{\text{зап}}, \quad (68)$$

где  $\Delta t_{\text{пуска ОАПВ}}$  – время, учитывающее неодновременность пусков ОАПВ по концам линии, принимается равным 0,02 с;

$t_{\text{вых реле}}^{\text{удал}}$  – время срабатывания выходного реле терминала удаленного конца линии, принимается равным 0,01 с (в цепях действия на ЭМО);

$t_{\text{откл В}}^{\text{удал}}$  – полное время отключения выключателя удаленного конца линии по паспорту;

$t_{\text{сраб ИПФ макс}}$  – максимальное время срабатывания ИПФ после отключения выключателя удаленного конца линии, принимается равным 0,02 с;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,01 с.

Таким образом, при отказе ИПФ защита ждет пока отключится поврежденная фаза на удаленном конце линии, после чего ожидается срабатывание ИПФ на своем конце линии. При срабатывании ИПФ поврежденной фазы происходит формирование сигнала ФКО, который блокирует набор выдержки времени DT5\_ОАПВ и предотвращает формирование сигнала [152111] Разрешение ОТФ.

Для синхронизации ФКО фаз защит своего конца линии необходимо, чтобы время DT5\_ОАПВ было больше времени приема сигналов РПО фаз выключателя при отключении поврежденной фазы от другого комплекта своего конца линии (см формулу (69)), в противном случае необходимо обеспечить обмен сигналами [152141] Отключение ф.А В1 и В2 внутренний (в В3), [152142] Отключение ф.В В1 и В2 внутренний (в В3), [152143] Отключение ф.С В1 и В2 внутренний (в В3) с приемом на программируемых входах [152725] Прием сигнала 'Отключение фазы А от В3', [152726] Прием сигнала 'Отключение фазы В от В3', [152727] Прием сигнала 'Отключение фазы С от В3'.

$$DT5\_ОАПВ > t_{\text{вых реле}} + t_{\text{РПО}}^{\text{АВВ}} + t_{\text{зап}}, \quad (69)$$

где  $t_{\text{вых реле}}$  – время срабатывания выходного реле терминала, принимается равным 0,01 с (в цепях действия на ЭМО);

$t_{\text{РПО}}^{\text{АУВ}}$  – время формирования сигналов РПО в АУВ, зависящее от собственного времени отключения выключателя и времени срабатывания двухпозиционного реле в выходных цепях АУВ;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,02 с.

#### 5.2.6.8 [152339] DT6\_ОАПВ Резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ

Выдержка времени резервирует отказ ИПФ из-за нехватки чувствительности по одной из поврежденных фаз при двухфазном КЗ на землю. Так как согласно рекомендациям 5.2.1.6 допускается обеспечение чувствительности в каскаде, выдержка времени выбирается согласно формуле:

$$DT6\_ОАПВ = DT5\_ОАПВ + t_{\text{вых реле}} + t_{\text{откл В}} + t_{\text{возв БЗЛ}} + t_{\text{зап}}, \quad (70)$$

где  $t_{\text{откл В}}$  – полное время отключения выключателя своего конца линии по паспорту;

$t_{\text{вых реле}}$  – время срабатывания выходного реле терминала, принимается равным 0,01 с (в цепях действия на ЭМО);

$t_{\text{возв БЗЛ}}$  – время возврата всех БЗЛ (в том числе в другом комплекте ОАПВ от которого принимается сигнал пуска ОАПВ), равное времени<sup>18</sup> пропадания сигнала [152061] БЗЛ после отключения выключателя;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,01 с.

При этом формирование сигнала [152111] Разрешение ОТФ все равно произойдет, но после возврата сигналов ИПФ и сигнала [152061] БЗЛ условий для отключения трех фаз не будет. Логика будет ожидать нового срабатывания вышеперечисленных сигналов для действия на ОТФ.

#### 5.2.6.9 [152340] DT7\_ОАПВ Время готовности выключателей В1,В2

Выдержка времени служит для определения логикой ОАПВ готовности выключателя к повторному включению и выбирается больше величины времени взвода привода по паспорту. Если выключатели в схеме ошиновки с двумя выключателями на присоединение разные, то выдержка времени выбирается максимальной для двух выключателей.

Необходимо, чтобы после успешного ОАПВ новое действие устройства происходило не ранее, чем это допускается по условиям работы выключателя в следующем цикле:

$$O \rightarrow t_{\text{АПВ}} \rightarrow BO \rightarrow DT7\_ОАПВ \rightarrow B,$$

где O – операция отключения;

B – операция включения;

$t_{\text{АПВ}}$  – гарантированная для выключателя минимальная бестоковая пауза при АПВ.

Параметры эти необходимо брать из технических данных на выключатель завода-изготовителя (обычно 15 ÷ 180 с).

<sup>18</sup> Наибольшее время возврата [152061] БЗЛ будет у ДФЗ. Время возврата ОСФ в несработанное состояние зависит от скважности ВЧ сигнала после отключения выключателя, которая в свою очередь зависит от многих факторов, таких как правильность работы устройства КЕТ, правильность настройки ВЧ оборудования, достаточность тока ОП несимметричного режима ОАПВ для надежного срабатывания ПО и т.д. Для ДФЗ время  $t_{\text{возв БЗЛ}}$  рекомендуется задавать не менее 0,1 с.

Также это время должно быть не меньше времени формирования сигнала [152077] ФКОФ - D по схеме ИЛИ от момента срабатывания ИПФ (0,06 с), так как этот сигнал используется для возврата подхвата сигнала [152061] БЗЛ от сигнала [152063] ФП ОАПВ.

Также необходимо обеспечить, чтобы после ОАПВ на устойчивое КЗ релейная защита, действующая с максимально возможным временем, успела снова отключить выключатель раньше, чем устройство АПВ вернется в состояние готовности к новому действию. В противном случае возможны многократные включения выключателя.

То есть, должно выполняться неравенство:

$$DT7\_ОАПВ \geq t_{\text{сигн.откл}} + t_{\text{вых реле}} + t_{\text{откл В}} + t_{\text{зап}}, \quad (71)$$

где  $t_{\text{сигн.откл}}$  – время формирования сигнала **[152125] Отключение фазы**, которое равно времени срабатывания ИПФ (зависит от типа и стороны очередности включения конца линии), либо времени срабатывания **[152061] БЗЛ**, в зависимости от того что медленнее и в зависимости от положения накладки **[152404] ХВ4\_ОАПВ Ограничение времени самостоятельного действия ЗИПФ**;

$t_{\text{вых реле}}$  – время срабатывания выходного реле терминала, принимается равным 0,01 с (в цепях действия на ЭМО);

$t_{\text{откл В}}$  – полное время отключения выключателя своего конца линии по паспорту;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,5 с.

#### 5.2.6.10 [152341] DT8\_ОАПВ Расчетная пауза

Расчет и задание DT8\_ОАПВ обязательно независимо от применения ОКПД. DT8\_ОАПВ задается одинаковой для обоих концов линии. Переключение очередности включения конца линии производится путем добавления дополнительной задержки DT8.1\_ОАПВ

Для реактированных и не реактированных линий величина уставки расчетной паузы ОАПВ конца линии, который включается первым вычисляется по формуле:

$$DT8\_ОАПВ = t_{\text{РП}} + t_{\text{согл}}^{\text{ОКПД}}, \quad (72)$$

где  $t_{\text{РП}}$  – расчетная пауза ОАПВ для линии в целом, рассчитываемая по формуле (28);

$t_{\text{согл}}^{\text{ОКПД}}$  – время согласования РП с органами ОКПД.

В отличие от формулы (28) в формулу (72) дополнительно введено время  $t_{\text{согл}}^{\text{ОКПД}}$  для согласования РП с расчетными задержками включения от органов ОКПД, которые при погасании дуги должны отработать раньше чем РП. Если ОКПД не используется, либо программная накладка **[152409] ХВ9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ** выставлена в положение **0 - не предусмотрено**, то время согласования выбирается равным 0 с (согласование не требуется). Если ОКПД используется и программная накладка **[152409] ХВ9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ** выставлена в положение **1 - предусмотрено**, то время согласования выбирается равным 0,01 с.

#### 5.2.6.11 [152344] DT8.1\_ОАПВ Задержка на включение II стороны линии

DT8.1\_ОАПВ задается одинаковой для обоих концов линии.

Выключатель на втором конце линии включают только тогда, когда включение фазы на первом конце оказалось успешным. Для этого к времени DT8\_ОАПВ добавляется задержка, вычисляемая по формуле:

$$DT8.1\_ОАПВ = \max(\tau_{\text{перв}}, t_{\text{согл}}^{\text{ОВУВ}}) - t_{\text{согл}}^{\text{ОКПД}}, \quad (73)$$

где  $\tau_{\text{перв}}$  – длительность переходного процесса в первичной цепи, вызванное включением ведущего выключателя первой стороны линии, выбирается равным 0,2 с [1];

$t_{\text{согл}}^{\text{ОВУВ}}$  – время согласования РП с ОВУВ;

$t_{\text{согл}}^{\text{ОКПД}}$  – время согласования РП с органами ОКПД согласно пункту 5.2.6.10.

Если ОВУВ не используется, либо программная накладка [152409] ХВ9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ выставлена в положение **0 - не предусмотрено**, то время согласования выбирается равным 0 с (согласование не требуется). Если ОВУВ используется и программная накладка [152409] ХВ9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ выставлена в положение **1 - предусмотрено**, то необходимо рассчитать время согласования с ОВУВ по формуле:

$$t_{\text{согл}}^{\text{ОВУВ}} = t_{\text{ср ОВУВ}} + t_{\text{зап}} = 0,16 \text{ с}, \quad (74)$$

где  $t_{\text{ср ОВУВ}}$  – нерегулируемая выдержка времени включения от ОВУВ<sup>19</sup>, равная 0,06 с;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,1 с.

Если ОВУВ не используется, либо программная накладка [152409] ХВ9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ выставлена в положение **0 - не предусмотрено**, тогда для возможности ОТФ от телекоманды ОТФ программная накладка [152384] ХВ4\_ОТФ Контроль приема сигн.ТК\_ОТФ при ФЦО должна быть выставлена в положение **1 - предусмотрен**. При этом максимальное время, в течение которого возможен прием телекоманды ОТФ с конца линии, который включается первым, должно быть не более  $t_{\text{ср ОВУВ}}$ . В противном случае необходимо увеличить уставку до необходимого значения.

#### 5.2.6.12 [152342] DT9\_ОАПВ Расчетная пауза с АКР

Ввод КР в нейтраль ШР существенно ускоряет гашение дуги, а следовательно и величину требуемой расчетной паузы. Аналогичный эффект дает повышение индуктивности УШР в неполнофазном режиме ОАПВ. Прием дискретного сигнала о расшунтированном положении КР переключает логику включения ОАПВ на меньшую выдержку времени расчетной паузы, которая рассчитывается аналогично пункту 5.2.6.10, с той лишь разницей что  $t_{\text{гаш КР}}$  рассчитывается по формулам (29), (30) и (31).

#### 5.2.6.13 [152343] DT10\_ОАПВ Задержка на включение ведомого выключателя

Выдержка времени определяет задержку включения ведомого выключателя после ведущего в схеме ошиновки с двумя выключателями на присоединения и должно быть больше времени формирования сигнала [152156] ОТФ в цикле ОАПВ при повторном включении на неустранившееся КЗ. Уставка [152343] DT10\_ОАПВ Задержка на включение ведомого выключателя рассчитывается по формуле:

$$DT10_{\text{ОАПВ}} = t_{\text{вкл В}} + t_{\text{сигн.откл}} + t_{\text{зап}}, \quad (75)$$

где  $t_{\text{вкл В}}$  – время включения выключателя по паспорту;

$t_{\text{сигн.откл}}$  – время формирования сигнала [152125] Отключение фазы, которое равно времени срабатывания ИПФ (зависит от типа и стороны очередности включения конца линии), либо времени срабатывания [152061] БЗЛ, в зависимости от того что медленнее и в зависимости от положения накладки [152404] ХВ4\_ОАПВ Ограничение времени самостоятельного действия ЗИПФ;

$t_{\text{зап}}$  – время запаса, принимается равным 0,05 с.

<sup>19</sup> В совокупности с временем включения выключателя составляет не менее 0,2 с.

### 5.2.6.14 [152345] DT12\_ОАПВ Задержка включения 1 канала ОКПД

Выдержка времени определяет задержку действия [015047] ПО Уоф ОКПД, грубый на формирование сигнала [152207] Включение от ОКПДУВ. Уставка [152345] DT12\_ОАПВ Задержка включения 1 канала ОКПД рассчитывается по формуле:

$$DT12\_ОАПВ = t_{ог} + \tau_{\phi}, \quad (76)$$

где  $t_{ог}$  – время окончательного гашения дуги;

$\tau_{\phi}$  – длительность переходного процесса в фильтре Фурье, выбирается равным 0,02 с.

С целью проверки канала дуги повышенным напряжением, за время окончательного гашения дуги  $t_{ог}$ , принимается время до первого максимума биений, но не меньше времени деионизации среды  $t_{дс}$ :

$$t_{ог} = \max\left(\frac{T_6}{2}, t_{дс}\right) + t_{зап}, \quad (77)$$

где  $T_6$  – измеренный по осциллограммам период биений;

$t_{зап}$  – время запаса, принимается равным 0,02 с.

В отсутствии осциллограммы, с учетом 50% ошибки в расчетах может быть принят равным:

$$T_6 = 1,5 \cdot T_{6\text{ расч}}, \quad (78)$$

где  $T_{6\text{ расч}}$  – рассчитанный по формуле (33) период биений.

При подстановке формулы (34) в формулу (33) получим следующую формулу для расчета периода биений:

$$T_{6\text{ расч}} = \frac{1}{f_{пр} \cdot \left| 1 - \sqrt{\frac{K_p}{0,92}} \right|}, \quad (79)$$

где  $K_p$  – степень компенсации реактивной мощности линии шунтирующими реакторами в неполнофазном режиме ОАПВ берется по паспорту, либо рассчитывается по формуле (35);

$f_{пр}$  – частота принужденной составляющей напряжения (частота ЭДС сети);

При резонансных степенях компенсации реактивной мощности включение целесообразно совершать сразу при достижении восстанавливающегося напряжения величины уставки АОПН, чтобы не вызвать ОТФ. Для этого следует скорректировать **DT12\_ОАПВ** так, чтобы при нарастании напряжения к максимуму биения от момента достижения величины уставки [152312] Уср грубого ПО Уоф ОКПД ( $U_{оф\text{ груб уст}}$ ) включение произошло при модуле восстанавливающегося напряжения не более уставки АОПН ( $U_{АОПН\text{ уст}}$ ).

При отсутствии аварийной осциллограммы время нарастания восстанавливающегося напряжения от  $U_{оф\text{ груб уст}}$  до  $U_{АОПН\text{ уст}}$  можно рассчитать приняв зависимость изменения модуля восстанавливающегося напряжения при биениях, как синусоиду с периодом  $2T_{6\text{ расч}}$ :

$$\Delta t_{нар} = \frac{T_{6\text{ расч}}}{\pi} \left( \arcsin\left(\frac{U_{АОПН\text{ уст}}}{U_{в\text{ макс}}}\right) - \arcsin\left(\frac{U_{оф\text{ груб уст}}}{U_{в\text{ макс}}}\right) \right), \quad (80)$$

где  $U_{в\text{ макс}}$  – модуль восстанавливающегося напряжения в точке максимума первого периода биения, находится по рисунку 8.

### 5.2.6.15 [152346] DT13\_ОАПВ Задержка включения 2 канала ОКПД

Выдержка времени определяет задержку действия [015049] ПО Унч ОКПД на формирование сигнала [152207] Включение от ОКПДУВ. Уставка [152346] DT13\_ОАПВ Задержка включения 2 канала ОКПД рассчитывается по формуле:

$$DT13\_ОАПВ = t_{0Г} + \tau_{\phi}, \quad (81)$$

где  $\tau_{\phi}$  – длительность переходного процесса в ФНЧ 6-го порядка плюс время возврата ПО, выбирается равным 0,3 с.

### 5.2.6.16 [152347] DT14\_ОАПВ Задержка на отключение 3-х фаз от ОКПДУВ

Отключение трех фаз необходимо производить если выявлено устойчивое КЗ.

Для версий ПО терминала от 4хх включительно КЗ считаются устойчивыми, если за время РП не было ни одной попытки гашения дуги. Попыткой гашения считается кратковременное срабатывание хотя бы одного из ПО КПД. Таким образом уставка [152347] DT14\_ОАПВ Задержка на отключение 3-х фаз от ОКПДУВ рассчитывается по формуле:

$$DT14\_ОАПВ = t_{РП} - t_{\text{пуск ОКПД}}, \quad (82)$$

где  $t_{РП}$  – расчетная пауза ОАПВ для линии в целом, рассчитываемая по формуле (28);

$t_{\text{пуск ОКПД}}$  – суммарная задержка формирования сигнала [152165] Пуск ТЗНФ и ОКПДУВ от начала отсчета выдержки времени [152341] DT8\_ОАПВ Расчетная пауза, равная 0,16 с.

Функция применима только при работе ОАПВ на основной выдержке времени [152341] DT8\_ОАПВ Расчетная пауза. При переключении логики включения на выдержку времени [152342] DT9\_ОАПВ Расчетная пауза с АКР посредством приема сигнала на программируемом входе [152729] Прием сигнала 'Расшунтированное состояния КР' от АКР, включение произойдет раньше, чем отработает функция ОТФ по истечении времени DT14\_ОАПВ. То есть функция [152166] ОТФ от ОКПДУВ автоматически выводится из работы.

## 5.2.7 Выбор уставок по времени в шкафу ШЭТ АУВ

### 5.2.7.1 [114263] DT12.1\_АУВ Расчетная пауза ОАПВ Э1, [114264] DT12.2\_АУВ Расчетная пауза ОАПВ

Э2

DT12.1\_АУВ и DT12.2\_АУВ задается одинаковой для обоих концов линии. Переключение очередности включения конца линии производится путем добавления дополнительных задержек DT14.1\_АУВ и DT14.2\_АУВ.

Так как в идеологии ШЭТ функция ОКПДУВ не предусмотрена, то включение на обоих концах линии может производиться только по расчетной паузе. Для реактированных и не реактированных линий величина уставки расчетной паузы ОАПВ конца линии, который включается первым вычисляется по формуле:

$$DT12.1\_ОАПВ = DT12.2\_ОАПВ = t_{РП}, \quad (83)$$

где  $t_{РП}$  – расчетная пауза ОАПВ для линии в целом, рассчитываемая по формуле (28);

### 5.2.7.2 [114265] DT13.1\_АУВ Расчетная пауза ОАПВ с АКР Э1, [114266] DT13.2\_АУВ Расчетная пауза ОАПВ с АКР Э2

Ввод КР в нейтраль ШР существенно ускоряет гашение дуги, а следовательно и величину требуемой расчетной паузы. Аналогичный эффект дает повышение индуктивности УШР в неполнофазном режиме ОАПВ. Прием дискретного сигнала о расшунтированном положении КР переключает логику включения ОАПВ на меньшую выдержку времени расчетной паузы, которая рассчитывается аналогично пункту 5.2.7.1, с той лишь разницей что  $t_{\text{гаш КР}}$  рассчитывается по формулам (29), (30) и (31).

### 5.2.7.3 [114267] DT14.1\_ОАПВ Задержка на включение II стороны линии Э1, [114268] DT14.2\_ОАПВ Задержка на включение II стороны линии Э2

Так как в идеологии ШЭТ функция ОКПДУВ не предусмотрена, то включение на обоих концах линии может производиться только по расчетной паузе.

Выключатель на втором конце линии включают только тогда, когда включение фазы на первом конце оказалось успешным. Для этого к временам DT12.1\_АУВ и DT12.2\_АУВ добавляются одинаковые задержки, вычисляемые по формуле:

$$DT14.1\_ОАПВ = DT14.2\_ОАПВ = \tau_{\text{перв}}, \quad (84)$$

где  $\tau_{\text{перв}}$  – длительность переходного процесса в первичной цепи, вызванное включением ведущего выключателя первой стороны линии, выбирается равным 0,2 с [1].

### 5.2.7.4 [114269] DT15.1\_АУВ Время блокировки ТАПВ при неуспешном ОАПВ Э1, [114270] DT15.2\_АУВ Время блокировки ТАПВ при неуспешном ОАПВ Э2

Выдержки времени выбираются аналогично п.5.2.6.9.

## 5.2.8 Назначение программных накладок ХВ

В данном разделе приведены рекомендации актуальные для проектных решений, соответствующих соединениям комплектов ОАПВ, указанным в приложении А настоящего документа. При наличии отличий в проекте от указанных в приложении А рекомендаций, связанные с ними рекомендации по выбору уставок могут потребовать пересмотра вплоть до полного отключения функционального узла.

### 5.2.8.1 [050365] Реактирование линии

Программная накладка служит для переключения набора органов КПД в соответствии с наличием ШР на линии и выставляется в положение **0 - на одном или двух концах** если хотя бы на одном конце линии установлен ШР. В случае установки ШР на шинах, либо при его отсутствии, программная накладка выставляется в положение **1 - отсутствует или на шинах**.

Если в цикле ОАПВ вместе с отключением фазы линии происходит отключение фазы реактора, то это равносильно установке ШР на шинах.

Это параметр линии, поэтому на обоих концах линии уставка должна быть выставлена одинаковой.

#### 5.2.8.2 [152381] XB1\_ОТФ Контроль приема сигнала ТК\_УРОВ

Программная накладка служит для ввода контроля приема телекоманды УРОВ (программируемый вход [152731] Прием ТК\_УРОВ) от измерительных органов ДЗ и ТНЗНП. Если на объекте для всех выключателей системы шин используется групповое УРОВ при котором телекоманда УРОВ посылается на удаленные концы всех смежных линий, то для предотвращения отключения линий без КЗ с удаленной стороны накладка в терминале удаленной стороны должна быть выставлена в положение **1 - предусмотрен**. Если для каждого выключателя системы шин используется индивидуальное УРОВ, то накладка в терминале удаленной стороны должна быть выставлена в положение **0 - не предусмотрен**.

В случаях возникновения необходимости повышения помехоустойчивости дискретных входов терминала наладку также рекомендуется выставлять в положение **1 - предусмотрен**.

#### 5.2.8.3 [152382] XB2\_ОТФ Контр. приема сигналов ТК\_ОТФ и ТК\_ОАПВ

Программная накладка служит для ввода контроля приема телекоманды ОТФ (программируемый вход [152732] Прием ТК\_ОТФ) и телекоманды ОАПВ (программируемый вход [152732] Прием ТК\_ОАПВ) от измерительных органов ДЗ и ТНЗНП. Для повышения помехоустойчивости рекомендуется выставлять наладку в положение **1 - предусмотрен**. Если есть опасность, что на конце линии со слабым питанием контролирующие ИО при КЗ на линии могут не сработать накладка должна быть выставлена в положение **0 - не предусмотрен**.

#### 5.2.8.4 [152383] XB3\_ОТФ Контроль приема сигн.ТК\_УРОВ при ФЦО

Программная накладка служит для разрешения приема телекоманды УРОВ (программируемый вход [152731] Прием ТК\_УРОВ) в неполнофазном режиме ОАПВ. На конце линии, включающемся вторым, накладка должна быть выставлена в положение **1 - предусмотрен**.

#### 5.2.8.5 [152384] XB4\_ОТФ Контроль приема сигн.ТК\_ОТФ при ФЦО

Программная накладка служит для разрешения приема телекоманды ОТФ (программируемый вход [152732] Прием ТК\_ОТФ) в неполнофазном режиме ОАПВ. На конце линии, включающемся вторым, накладка должна быть выставлена в положение **1 - предусмотрен**.

#### 5.2.8.6 [152385] XB5\_ОТФ Перевод на ОТФ при отказе ОАПВ

Программная накладка служит для ОТФ при длительном срабатывании БЗЛ. Перевод действия своих БЗЛ на ОТФ при их срабатывании происходит при длительности сработанного состояния БЗЛ более выдержки времени [152331] DT1\_ОТФ Задержка ОТФ при отказе ОАПВ. Для предотвращения отказа отключения от ОАПВ при неисправности в выходных цепях пуска ОАПВ или во входных цепях приема неготовности других комплектов ОАПВ рекомендуется выставлять наладку в положение **1 - предусмотрен**.

#### 5.2.8.7 [152386] XB6\_ОТФ Перевод на ОТФ

Программная накладка служит для переключения типовой логики неготовности ОАПВ на программируемую логику. При отсутствии в области программируемой логики пользовательской логики неготовности ОАПВ накладка должна быть выставлена в положение **0 - типовая логика**.

#### 5.2.8.8 [152388] XB8\_ОТФ Инверсия входа приема сигнала негот-ти ОАПВ,ИПФ от ВЗ

Программная накладка служит для инвертирования принимаемого на программируемом входе [152705] Прием сигнала 'Неготовность ОАПВ или ИПФ от ВЗ' сигнала. Положение 0 - нет программной накладки XB8\_ОТФ соответствует приему сигнала неготовности (соответствует названию программируемого входа). Логическая схема приема изображена на рисунках 1 и 4 приложения А. Типовая электрическая схема обмена сигналами приведена на рисунке 5 приложения А.

#### 5.2.8.9 [152389] XB9\_ОТФ Пуск ТК\_УРОВ от ОТФ при АУ

Программная накладка служит для вывода действия [152157] ОТФ при АУ (ТАПВ или ОЛ) на формирование сигнала [152231] Пуск ТК\_УРОВ. Если аналогичная по функционалу телекоманда формируется в шкафу АУВ, то накладка должна быть выставлена в положение 0 - не предусмотрен.

#### 5.2.8.10 [152401] XB1\_ОАПВ Пуск ОАПВ

Программная накладка [152401] XB1\_ОАПВ Пуск ОАПВ служит для исключения фиксации пуска ОАПВ и пуска телекоманды ОАПВ ([152233] Пуск ТК\_ОАПВ) от своих БЗЛ путем перевода накладки в положение 1 - не предусмотрен.

Для полного вывода всех функций ОАПВ, таких как пофазное отключение/включение, ТЗНФ и ОКПДУВ, помимо перевода программной накладки XB1\_ОАПВ в положение 1 - не предусмотрен рекомендуется:

- на программируемый вход [152702] Прием сигнала 'Пуск ОАПВ от ВЗ' сконфигурировать сигнал [300000] Логический сигнал '0';
- на программируемый вход [152605] Прием сигнала 'Вывод ОАПВ' оперативного переключателя SA 'ОАПВ' сконфигурировать сигнал [300001] Логический сигнал '1';
- на программируемый вход [152719] Прием сигнала 'Запрет ФП ОАПВ' сконфигурировать сигнал [300001] Логический сигнал '1' либо сигнал [164105] SA 'ОАПВ' выведен.

Для вывода пуска ОАПВ от своих БЗЛ и использовании шкафа для приема только внешнего пуска ОАПВ на программируемом входе [152702] Прием сигнала 'Пуск ОАПВ от ВЗ', помимо перевода программной накладки XB1\_ОАПВ в положение 1 - не предусмотрен рекомендуется на программируемый вход [152719] Прием сигнала 'Запрет ФП ОАПВ' сконфигурировать сигнал [300000] Логический сигнал '0'.

#### 5.2.8.11 [152404] XB4\_ОАПВ Ограничение времени самостоятельного действия ЗИПФ

Программная накладка служит для ограничения длительности ввода дистанционных ИПФ. На линиях, где есть вероятность возникновения качаний в неполнофазном режиме ОАПВ программная накладка выставляется в положение 1 - предусмотрено.

#### 5.2.8.12 [152405] XB5\_ОАПВ Пуск ТК\_УРОВ, Запрет ТАПВ при ОТФ от ОКПДУВ

Программная накладка служит для формирования сигнала [152193] Запрет ТАПВ (в АУВ) при неустранившихся однофазных КЗ на землю, выявленных органами КПДУВ. В данном случае, КЗ считается неустранившимся, если сформировался сигнал [152166] ОТФ от ОКПДУВ. Если функция ОКПДУВ используется и программная накладка [152409] XB9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ выставлена в положение предусмотрено, то рекомендуется выставить накладку в положение предусмотрен.

### 5.2.8.13 [152406] XB6\_ОАПВ Запрет ТАПВ при втором действии ОАПВ

Программная накладка служит для формирования сигнала [152193] **Запрет ТАПВ (в АУВ)** при однофазных КЗ на землю, выявленных при повторном включении отключенной фазы от РП или ОКПДУВ. В данном случае, КЗ считается неустранившимся, если до набора выдержки времени [152340] **DT7\_ОАПВ Время готовности выключателей В1,В2** произошло повторное отключение включившейся фазы.

### 5.2.8.14 [152407] XB7\_ОАПВ Запрет ТАПВ от ФКВ

Программная накладка служит для формирования сигнала [152193] **Запрет ТАПВ (в АУВ)** при включении без контроля либо с контролем от сигнала [152125] **Отключение фазы**.

Повторный пробой дугового промежутка после включения отключенной фазы на номинальное напряжение может происходить в течение всего времени деионизации среды. Не смотря на значительное влияние случайных внешних факторов, в частности погодных условий, возникновение повторного пробоя после выдержки времени деионизации считается маловероятным. Поэтому если запрет ТАПВ требуется выдавать в АУВ только при включении на неустранившееся КЗ, то следует включить контроль появления сигнала отключения в течение выдачи сигнала ФКВ, выставив накладку в положение **2 - с контролем откл. фаз**.

### 5.2.8.15 [152408] XB8\_ОАПВ Включение

Программная накладка служит для определения способа включения конца линии. Положение **0 - РП** – для включения только от РП. Положение **1 - РП или ОКПДУВ** – для включения от ОКПДУВ либо от РП при отказе ОКПДУВ.

Если программный переключатель [152504] **SA 'Очередность включения'** используется, то программная накладка XB8\_ОАПВ должна иметь одинаковое положение на обоих концах линии. Если программный переключатель [152504] **SA 'Очередность включения'** не используется<sup>20</sup>, то на стороне которая всегда включается первой возможно выставление накладаки **XB8\_ОАПВ** в положения **0 - РП**, а на стороне которая всегда включается второй – в положение **1 - РП или ОКПДУВ** (включение от ОВУВ).

### 5.2.8.16 [152409] XB9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ

Программная накладка служит для предотвращения включения на неустранившееся КЗ, прежде всего для конца линии, включающемся первым, так как на втором конце возможен прием телекоманды ОТФ (ВЧС №2) от первого конца.

Для версий ПО терминала от 4xx включительно:

- На конце линии, включающемся первым, рекомендуется выставлять программную накладку в положение **1 - предусмотрено** только на длинных реактированных линиях с большой степенью компенсации реактивной мощности (кроме перекомпенсации), а также на всех нереактированных линиях.
- На конце линии, включающемся вторым от ОВУВ, рекомендуется выставлять программную накладку

<sup>20</sup> Ни механический ни электронный ключи не используются, а на программируемый вход [152614] **Прием сигнала 'Включение первым'** назначается логическая единица или ноль, в зависимости от очередности включения стороны линии.

в положение **1 - предусмотрено** при любой длине линии и степени компенсации реактивной мощности.

Функция применима только при работе ОАПВ на основной выдержке времени [152341] DT8\_ОАПВ Расчетная пауза. При переключении логики включения на выдержку времени [152342] DT9\_ОАПВ Расчетная пауза с АКР посредством приема сигнала на программируемом входе [152729] Прием сигнала 'Расшунтированное состояние КР' от АКР, включение произойдет раньше, чем отработает рассматриваемая функция ОТФ по истечении времени DT14\_ОАПВ. То есть функция [152166] ОТФ от ОКПДУВ автоматически выводится из работы.

#### 5.2.8.17 [152410] XB10\_ОАПВ Блокировка канала 3U0 в ОВУВ

Программная накладка служит для блокировки [015050] ПО Uоф ОВУВ от [015051] ПО 3U0 блокировки ОВУВ в неполнофазном режиме ОАПВ до включения фазы на конце линии, включающемся первым. Рекомендуется выставлять накладку в положение **0 - предусмотрена** на реактированных линиях с высокой степенью компенсации реактивной мощности  $K_p$ , когда восстанавливающееся напряжение превышает уставку ПО Uоф ОВУВ (см рисунок 8).

#### 5.2.8.18 [152411] XB11\_ОАПВ Включение от внешнего ОАПВ

Программная накладка служит для блокировки функций ОАПВ, связанных с включением выключателей при их переносе во внешние шкафы АУВ В1 и В2. Для этого программная накладка XB11\_ОАПВ выставляется в положение **1 - предусмотрено**. При этом все функции ОАПВ, связанные с отключением выключателей (ИПФ, ТЗНФ, ОТФ от ОКПДУВ) остаются в работе. Триггеры ОАПВ, обозначающие неполнофазный режим ([152063] ФП ОАПВ, [152071] ФКОА, [152072] ФКОВ, [152073] ФКОС, [152078] ФКО1 и т.д.), остаются в работе и должны быть синхронизированы по времени с ОАПВ в АУВ В1 и В2. Для синхронизации необходимо предотвратить сброс цикла увеличив время [152334] DT1\_ОАПВ Сброс фиксации пуска и обеспечить прием сигналов на программируемых входах [152703] Прием сигнала 'ФКО В1 от В3' и [152704] Прием сигнала 'ФКО В2 от В3' и опционально [152707] Прием сигнала 'ФКВ от В3'.

#### 5.2.8.19 [152413] XB13\_ОАПВ Инверсия входа приема сигнала запрета ЗИПФ

Программная накладка служит для инвертирования принимаемого на программируемом входе [152728] Прием сигнала 'Запрет ЗИПФ' сигнала. Положение **0 - нет** программной накладки XB13\_ОАПВ соответствует приему запрещающего сигнала (соответствует названию программируемого входа). Логическая схема приема изображена на рисунке 3 приложения А.

#### 5.2.8.20 [152414] XB14\_ОАПВ Инверсия входов приема сиг-ов запрета ОАПВ В1,В2 от В3

Программная накладка служит для инвертирования принимаемых на программируемых входах [152721] Прием сигнала 'Запрет ОАПВ В1 от В3' и [152722] Прием сигнала 'Запрет ОАПВ В2 от В3' сигналов. Положение **0 - нет** программной накладки XB14\_ОАПВ соответствует приему запрещающего сигнала (соответствует названию программируемых входов).

### 5.2.8.21 [152415] XB15\_ОАПВ Второй цикл ОАПВ в другой фазе

Программная накладка служит для сброса триггеров готовности фаз выключателя к циклу ОАПВ, блокирующим формирование сигнала [152113] **Разрешение ОТФ при II цикле ОАПВ** одновременно со срабатыванием [152061] БЗЛ и/или<sup>21</sup> ИПФ. Если программная накладка XB15\_ОАПВ выставлена в положение **0 - предусмотрен**, то новое КЗ в другой фазе, отличной от фазы включения от ОАПВ, приведет к новому циклу ОАПВ (и т.д по одному циклу на каждую фазу) не смотря на отсутствие сигнала [152201] **Готовность В1,В2**.

## 5.2.9 Назначение программных накладок XB в шкафу ШЭТ АУВ

### 5.2.9.1 [114322] XB14\_АУВ Запрет ТАПВ при работе ОАПВ

Программная накладка служит для формирования сигналов [152310] **Запрет УТАПВ и ТАПВ-ОН**, [152311] **Иср ПО 310 ОКПД** и [152312] **Уср грубого ПО Уоф ОКПД** после включения от ОАПВ. Таким образом, при выставлении накладки XB14\_АУВ в положение **1 - предусмотрен** ТАПВ после неуспешного ОАПВ не произойдет.

### 5.2.9.2 [114336] XB26\_АУВ Функция ОАПВ

Программная накладка служит для вывода функции ОАПВ обоих энергообъектов без использования переключателей [114509] SA 'ОАПВ Э1' и [114510] SA 'ОАПВ Э2'. Если функция ОАПВ задействована, то накладка XB26\_АУВ должна быть выставлена в положение **0 - предусмотрена**.

### 5.2.9.3 [114337] XB27\_АУВ "Ведущий/Ведомый" в логике ОАПВ

Программная накладка служит для возможности добавления дополнительной выдержки времени [114256] DT6\_АУВ **Задержка на включение ведомого выключателя** в канал включения от ОАПВ при помощи переключателя [114508] SA 'Выбор выключателя'. Если оба выключателя на присоединении включаются от ОАПВ одновременно, то необходимо программную накладку XB27\_АУВ выставить в положение **1 - не предусмотрен**.

### 5.2.9.4 [114338] XB28\_АУВ Блокировка ТАПВ при неуспешном ОАПВ

Программная накладка служит для формирования сигнала [152212] **Блокировка ТАПВ при неусп.ОАПВ** после включения от ОАПВ. При этом после неуспешного ОАПВ после отключения выключателя тремя фазами ТАПВ произойдет через время, равное сумме времен [114269] DT15.1\_АУВ **Время блокировки ТАПВ при неуспешном ОАПВ Э1** ([114270] DT15.2\_АУВ **Время блокировки ТАПВ при неуспешном ОАПВ Э2**) и времени ТАПВ, для которого сложились условия срабатывания.

<sup>21</sup> В зависимости от положения накладки [152404] XB4\_ОАПВ Ввод ИПФ на самостоятельное действие на время

### 5.3 Пример расчета уставок РП и ОКПД реактированной ЛЭП 500 кВ

На ВЛ включение производится от РП и ОКПДУВ. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные энергообъекта (в первичных величинах)

Группа параметров	Наименование параметра	Значение
ВЛ	Класс напряжения	500 кВ
	Длина линии	431,64 км
	Удельное сопротивление прямой последовательности ЛЭП	0,0297+j0,3016 Ом/км
	Удельное сопротивление НП ЛЭП	0,1817+j0,9286 Ом/км
	Удельная проводимость линии прямой последовательности	3,76·10 <sup>-6</sup> См/км
	Удельная проводимость линии НП	2,63·10 <sup>-6</sup> См/км
ШР, подключенных к ВЛ в цикле ОАПВ	Индуктивность фазы одного ШР (эквивалентная если ШР разные)	4,7841 Гн
	Количество однотипных ШР (1 если ШР разные)	1
	КР в нейтрали ШР	нет
Неполнофазного режима ОАПВ	Максимальный ток НП	326 А
Режим включения первой стороны	<b>[152408] XB8_ОАПВ Включение</b>	<b>1 - РП или ОКПДУВ</b>
	<b>[152409] XB9_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ</b>	<b>1 - предусмотрено</b>
Режим включения второй стороны	<b>[152408] XB8_ОАПВ Включение</b>	<b>1 - РП или ОКПДУВ</b>
	<b>[152409] XB9_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ</b>	<b>1 - предусмотрено</b>

Общая поперечная проводимость всех ШР:

$$B_p = \frac{N_p}{2\pi f_{\text{нр}} L_p} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 4,7841} = 6,5306 \cdot 10^{-4} \text{ См.}$$

Волновое сопротивление линии по прямой последовательности:

$$Z_B = \sqrt{\frac{x_{1 \text{ уст}}}{b_{1 \text{ уст}}}} = \sqrt{\frac{0,3016}{3,76 \cdot 10^{-6}}} = 283 \text{ Ом.}$$

Волновая длина линии по прямой последовательности:

$$\lambda_1 = L_{\text{л уст}} \cdot \sqrt{x_{1 \text{ уст}} b_{1 \text{ уст}}} = 431,64 \cdot \sqrt{0,3016 \cdot 3,76 \cdot 10^{-6}} = 0,4597.$$

В отсутствии паспортных данных степень компенсации реактивной мощности линии шунтирующими реакторами в неполнофазном режиме ОАПВ рассчитывается по формуле (35):

$$K_p = \frac{B_p \cdot Z_B}{2 \tan \frac{\lambda_1}{2}} = \frac{6,5306 \cdot 10^{-4} \cdot 283}{2 \tan \frac{0,4597}{2}} = 0,3953.$$

Максимальное напряжение горения дуги на удаленном конце линии при максимальном угле передачи мощности на линии:

$$U_{\text{ГД макс}} = 3I_{0 \text{ макс}} \cdot \left| \frac{Z_0 - Z_1}{3} \right| = 326 \cdot 431,64 \cdot \left| \frac{(0,1817 + j0,9286) - (0,0297 + j0,3016)}{3} \right| = 30264 \text{ В}$$

Уставки по напряжению срабатывания **[152312] Уср грубого ПО Уоф ОКПД:**

$$U_{0\Phi \text{ груб уср}} = k_{отс} \cdot k_{комп} \cdot U_{ГД \text{ макс}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 30264 = 30264 \text{ В.}$$

Расчетный период биений:

$$T_{б \text{ расч}} = \frac{1}{f_{пр} \cdot \left| 1 - \sqrt{\frac{K_p}{0,92}} \right|} = \frac{1}{50 \cdot \left| 1 - \sqrt{\frac{0,3953}{0,92}} \right|} = 0,058.$$

В отсутствии осциллограммы, с учетом 50% ошибки период биений в расчетах может быть принят равным:

$$T_{б} = 1,5 \cdot T_{б \text{ расч}} = 1,5 \cdot 0,058 = 0,087 \text{ с.}$$

Время окончательного гашения дуги:

$$t_{ог} = \max\left(\frac{T_{б}}{2}, t_{дс}\right) + t_{зап} = \max\left(\frac{0,087}{2}, 0,2\right) + 0,02 = 0,22 \text{ с.}$$

Время гашения дуги для линии 500 кВ без КР:

$$\begin{aligned} t_{гаш}^{500 \text{ кВ}} &= 5,07 \cdot 10^{-6} \cdot L_{л}^2 - 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot L_{л} + 0,3 = \\ &= 5,07 \cdot 10^{-6} \cdot 431,64^2 - 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot 431,64 + 0,3 = 1,08 \text{ с} \end{aligned}$$

Время гашения дуги для линии 500 кВ с КР:

$$\begin{aligned} t_{гаш \text{ КР}}^{500 \text{ кВ}} &= 1,27 \cdot 10^{-6} \cdot L_{л}^2 - 1,95 \cdot 10^{-4} \cdot L_{л} + 0,3 = \\ &= 1,27 \cdot 10^{-6} \cdot 431,64^2 - 1,95 \cdot 10^{-4} \cdot 431,64 + 0,3 = 0,45 \text{ с.} \end{aligned}$$

Время расчетной паузы ОАПВ для линии без КР при времени деионизации среды  $t_{дс} = 0,2$  с:

$$t_{рп} = t_{гаш} + t_{дс} = 1,08 + 0,2 = 1,28 \text{ с.}$$

Время расчетной паузы ОАПВ для линии с КР:

$$t_{рп \text{ КР}} = t_{гаш \text{ КР}} + t_{дс} = 0,45 + 0,2 = 0,65 \text{ с.}$$

Так как ОКПД используется, то сначала рассчитаем уставки ОКПД.

Задержка действия **[015047] ПО Уоф ОКПД, грубый** на формирование сигнала **[152207] Включение от ОКПДУВ:**

$$DT12\_ОАПВ = t_{ог} + 0,02 = 0,22 + 0,02 = 0,24 \text{ с}$$

Так как  $T_{б} < DT12\_ОАПВ$ , то срабатывание по каналу 1 не ожидается. **ПО Уоф ОКПД, грубый** используется только для определения попытки гашения дуги.

Задержка действия **[015049] ПО Унч ОКПД** на формирование сигнала **[152207] Включение от ОКПДУВ:**

$$DT13\_ОАПВ = t_{ог} + 0,3 = 0,22 + 0,3 = 0,52 \text{ с}$$

**[152409] ХВ9\_ОАПВ ОТФ от ОКПДУВ** выставлена в положение **1 - предусмотрено** на обоих концах линии, поэтому необходимо рассчитать задержку отключения **[152347] DT14\_ОАПВ Задержка на отключение 3-**

**х фаз от ОКПДУВ** и задать времена согласования РП с ОКПДУВ:  $t_{согл}^{ОКПД} = 0,01$  с,  $t_{согл}^{ОВУВ} = 0,16$  с.

$$DT14\_ОАПВ = t_{рп} - t_{пуск \text{ ОКПД}} = 1,28 - 0,16 = 1,12 \text{ с.}$$

Расчетная пауза для конца линии, который включается первым от ОКПД:

$$DT8\_ОАПВ = t_{рп} + t_{согл}^{ОКПД} = 1,28 + 0,01 = 1,29 \text{ с.}$$

Добавочное время для конца линии, который включается вторым от ОВУВ:

$$DT8.1\_ОАПВ = \max(\tau_{перв}, t_{согл}^{ОВУВ}) - t_{согл}^{ОКПД} = \max(0,2; 0,16) - 0,01 = 0,19 \text{ с.}$$

### Корректировка уставок ОКПД при получении аварийной осциллограммы с восстанавливающимся напряжением.

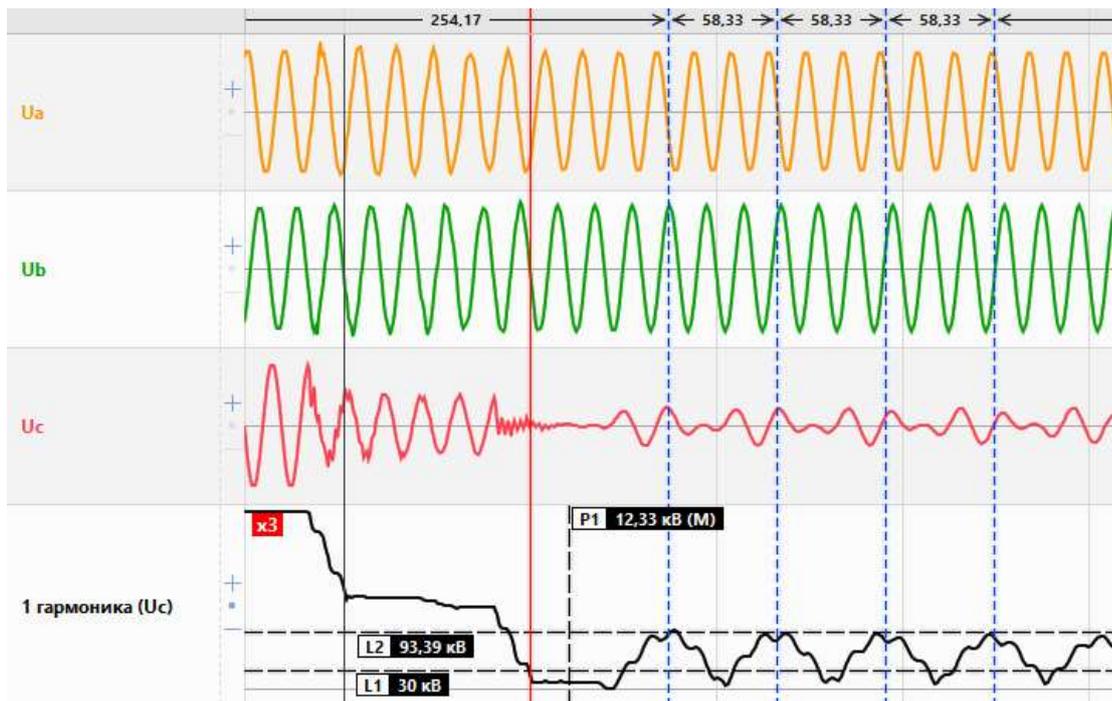
В программе анализа осциллограмм вычисляется модуль 1 гармоники напряжения отключенной в цикле ОАПВ фазы в масштабе действующих значений. На рисунке 12 показана записанная на объекте осциллограмма цикла ОАПВ по фазе С, где можно наблюдать процесс восстановления в напряжении  $U_c$ . Периодичное спадание модуля 1 гармоники к околонулевым значениям свидетельствует о процессе биений, период которых можно измерить по интервалам времени между максимумов.

Амплитудный спектр восстанавливающегося напряжения (на отрезке биений) будет иметь два максимума: с частотой принужденной составляющей сети ( $f_{пр} \approx 50$  Гц) и частотой свободной составляющей  $f_{св} < 50$  Гц при  $K_p < 1$  либо  $f_{св} > 50$  Гц при  $K_p > 1$ . Период биений можно рассчитать по формуле (33):

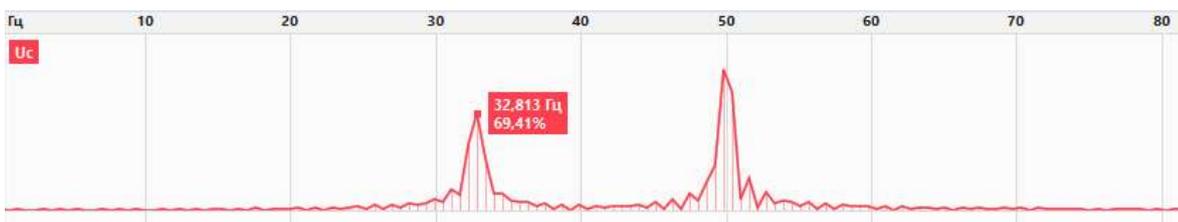
$$T_b = \frac{1}{|f_{пр} - f_{св}|} = \frac{1}{|50 - 32,813|} = 0,058 \text{ с,}$$

что равно значению  $T_{б \text{ расч.}}$ . Поэтому корректировка  $t_{ог}$  не требуется, а следовательно и не требуется корректировка зависящих от нее уставок ОКПД по времени.

Измеренное по осциллограмме значение  $U_{ГД} \approx 12330$  В. По предыдущим расчетам  $U_{ГД \text{ макс}} = 30264$  В. Так как  $U_{ГД} \leq U_{ГД \text{ макс}}$ , то корректировка  $U_{ГД \text{ макс}}$  не требуется, а следовательно и не требуется корректировка зависящей от нее уставок ОКПД по напряжению.



а) осциллограмма фазных напряжений в неполнофазном режиме ОАПВ

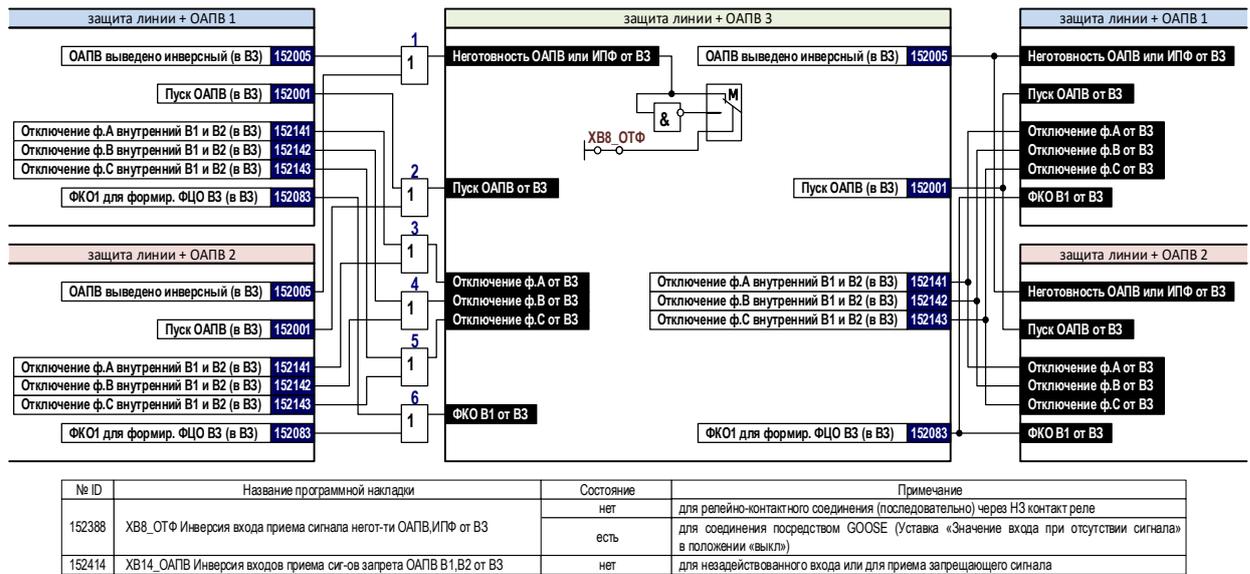


б) амплитудный спектр напряжения  $U_c$  на промежутке биений

Рис. 12 – Анализ аварийной осциллограммы с восстанавливающимся напряжением

## 5.4 Приложение А. Рекомендуемые схемы подключения комплектов ОАПВ своего конца

### ЛИНИИ



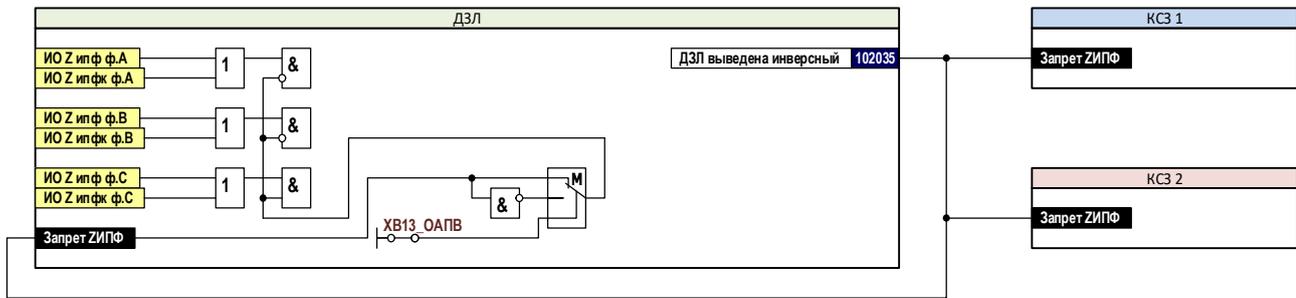
- Элементы 1-5 эквивалентны контактным соединениям на клеммнике шкафа и в случае взаимодействия устройств между собой посредством протокола GOOSE выполняются на программируемой логике.
- Выходное реле терминала с НЗ контактом используется для учета аппаратного состояния терминала
- Для комплекта, в котором ключ SA 'ОАПВ' не используется и всегда находится в положении **Работа** (на вход ключа сконфигурирован [300000] Логический сигнал '0') либо конфигурируемый вход [152719] Прием сигнала 'Запрет ФП ОАПВ' расконфигурирован, то прием сигналов **ФКО В1 от ВЗ** не обязателен.
- При конфигурировании программируемого входа [152719] по умолчанию вывод функции ОАПВ (переключателем SA или программной накладкой XВ) приводит к выводу ИПФ, поэтому в этом случае обязательны передача пуска ОАПВ в другие комплекты и прием от них сигналов ФКО для формирования ФЦО.

Рис. 1 – Схема подключения шкафов с типовой логикой с ОАПВ



- Элементы 1-2 эквивалентны контактным соединениям на клеммнике шкафа, в случае взаимодействия устройств между собой посредством протокола GOOSE выполняются на программируемой логике.
- При использовании в качестве основной защиты ВЧ3 прием сигналов ([152147], [152148]) в отсутствии приема пофазных отключений ([152141], [152142], [152144]) обеспечивает останов ВЧ приемопередатчика.

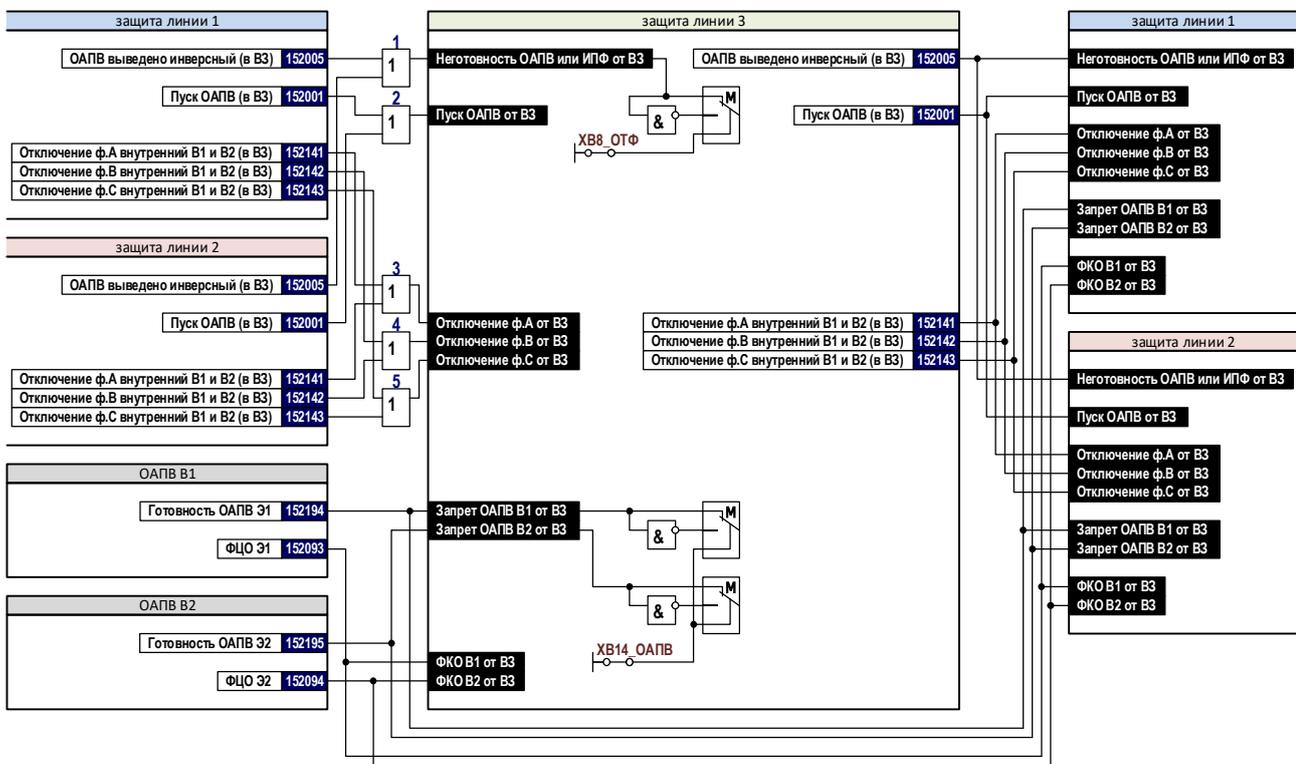
Рис. 2 – Схема подключения шкафов с типовой логикой без ОАПВ



№ ID	Название программной накладки	Состояние	Примечание
152413	XВ13_ОАПВ Инверсия входа приема сигнала запрета Дист.ИПФ	нет	для внутреннего соединения или соединения посредством GOOSE (Уставка «Значение входа при отсутствии сигнала» в положении «выкл»)
		есть	для релейно-контактного соединения через НЗ контакт реле

- Выходное реле терминала с НЗ контактом используется для учета аппаратного состояния терминала
- Прием сигналов [152141] Отключение ф. А от ВЗ – [152143] Отключение ф. С от ВЗ рекомендуется при использовании программируемого входа [152728] Запрет Дист.ИПФ.

Рис. 3 – Схема подключения шкафов ДЗЛ и КСЗ (в т.ч. с логикой ШЭТ)



№ ID	Название программной накладки	Состояние	Примечание
152388	XВ8_ОТФ Инверсия входа приема сигнала негот-ти ОАПВ,ИПФ от ВЗ	нет	для релейно-контактного соединения (последовательно) через НЗ контакт реле
		есть	для соединения посредством GOOSE (Уставка «Значение входа при отсутствии сигнала» в положении «выкл»)
152411	XВ11_ОАПВ Включение от внешнего ОАПВ	предусмотрено	для включения от внешнего устройства ОАПВ (ШЭТ)
152414	XВ14_ОАПВ Инверсия входов приема сиг-ов запрета ОАПВ В1,В2 от ВЗ	есть	для приема разрешающего сигнала (ШЭТ)

- Элементы 1-5 эквивалентны контактным соединениям на клеммнике шкафа и в случае взаимодействия устройств между собой посредством протокола GOOSE выполняются на программируемой логике.
- Выходное реле терминала с НЗ контактом используется для учета аппаратного состояния терминала
- Использование включения от внешнего ОАПВ в АУВ (идеология ШЭТ) означает, что комплекты ОАПВ в комплектах защит линии не действуют на включение, однако остальные функции ОАПВ, такие как: ИПФ, ТЗНФ и формирование внутреннего сигнала ФЦО остаются в работе.

Рис. 4 – Схема подключения шкафов с логикой ШЭТ

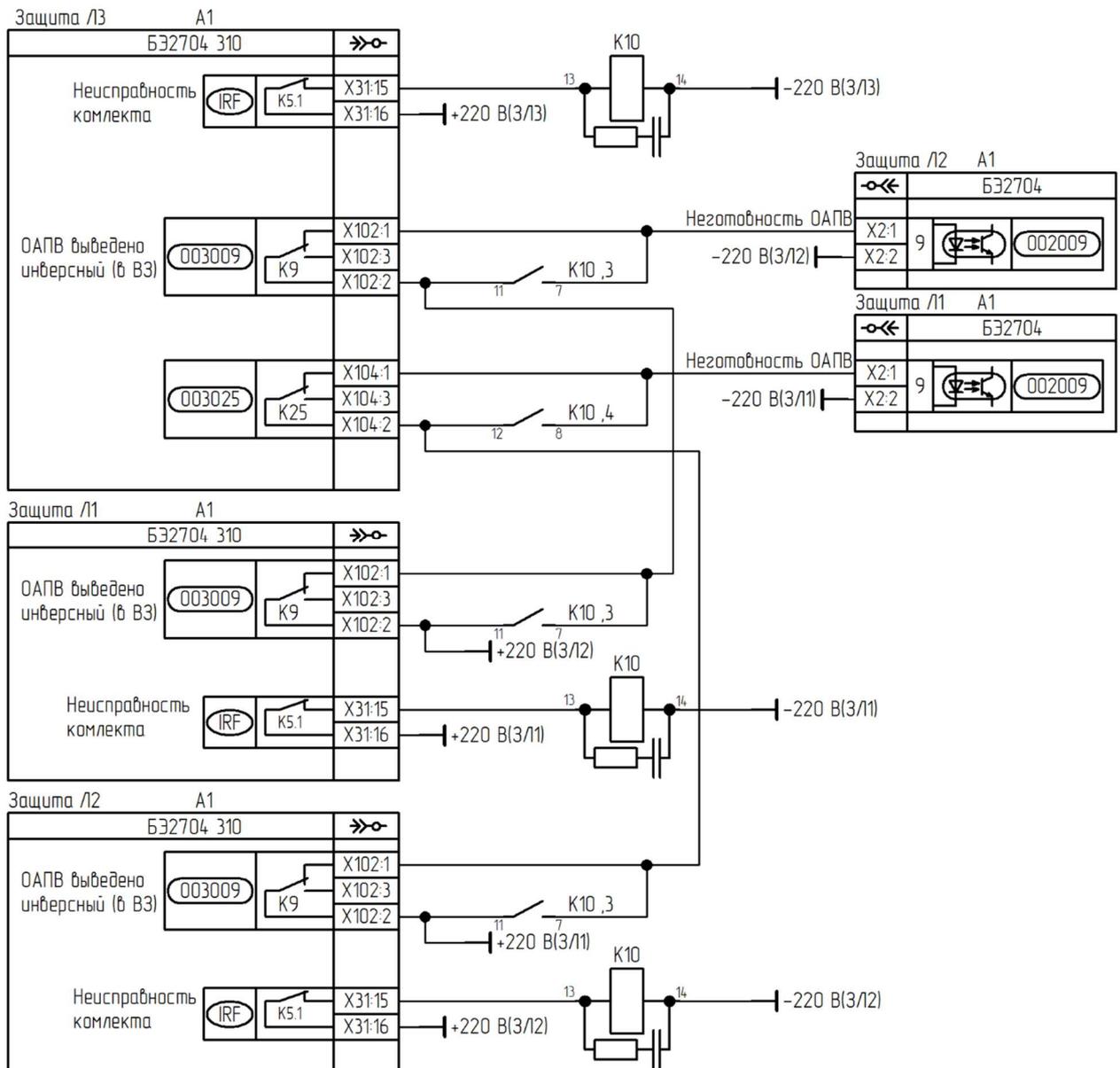


Рис. 5 – Релейно-контактная схема обмена сигналами неготовности ОАПВ между комплектами ОАПВ

### **Список литературы**

- 1 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.
- 2 Александров Г.Н., Ершевич В.В, Крылов С.В. и др. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983.